

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
Noviembre 2011 InvestigacionyCiencia.es
Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN
TECNOLOGÍA
Ciudades inteligentes
CRECIMIENTO
Metrópolis y suburbios
SOSTENIBILIDAD
Urbes más ecológicas
EDUCACIÓN
Motor para la innovación
NÚMERO MONOGRÁFICO
CIUDADES
Claves para comprender la complejidad urbana
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
CIUDADES INTELIGENTES | ECOLOGÍA URBANA | RASCACIELOS
NOVIEMBRE 2011 N.º 422
00422
9 770210 136004
6,00 EUROS



ARTÍCULOS

JOSEF HOFLEHNER *Gallery Stock*


10


42

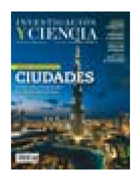


91

INVESTIGACIÓN
Y CIENCIA

SECCIONES

EN PORTADA



Se prevé que, hacia 2050, el setenta por ciento de la población mundial se concentrará en las ciudades. Las urbes afrontan enormes desafíos, pero también representan motores de cultura, creatividad y actividad económica. Este monográfico examina desde ángulos novedosos las oportunidades que ofrece la ciudad. Fotografía del rascacielos Burj Khalifa, en Dubái: © dblight/iStockphoto.

redaccion@investigacionyciencia.es



Julio 2011

TRANSGÉNICOS Y MALAS HIERBAS

En «Malas hierbas resistentes» [Investigación y Ciencia, julio de 2011], Jeery Adler analiza el problema que supone que algunas malas hierbas se hayan vuelto inmunes al glifosfato, un herbicida. Doug Gurian-Sherman, de la Unión de Científicos Preocupados, se pregunta sobre las consecuencias derivadas del cultivo de transgénicos [resistentes al glifosfato] como la soja Roundup Ready y, para mejorar la calidad de los cultivos, propone el regreso a los métodos tradicionales.

En fecha reciente, una comisión de expertos reunidos por las Academias Nacionales de EE.UU. se planteó la misma pregunta. Su conclusión fue que, en comparación con los cultivos tradicionales, dichas variedades han supuesto «considerables beneficios económicos y ambientales para los agricultores estadounidenses». Y añadieron que aún podría hacerse más: no mediante el retorno a las técnicas mendelianas, sino con el desarrollo de nuevos cultivos, mayores incentivos para gestionarlos de manera sostenible y con estudios adicionales para analizar su posible impacto.

Según mi investigación, en 2008, el uso de la soja Roundup Ready generó beneficios por valor de 750 millones de dólares para los agricultores, y ello a pesar de que más de la mitad de los productores se muestran preocupados por la resistencia de las malas hierbas y de que se planea tratar con otros herbicidas un tercio de los cultivos de soja.

A la vista de los datos disponibles, cabe prever que la resistencia al glifosfato se convierta en una lección aprendida y que los cultivos modificados genéticamente revestirán una importancia cada vez mayor.

Terrance Hurley
Departamento de economía aplicada
Universidad de Minnesota

CONOCIMIENTO CONSCIENTE

El artículo «Consciencia artificial», de Christof Koch y Giulio Tonioni [Investigación y Ciencia, agosto de 2011], presenta un método experimental que podría suponer una notable mejora con respecto al test de Turing a la hora de definir e identificar operativamente lo que denominamos «inteligencia». La distinción entre imágenes complejas «razonables» frente a otras carentes de sentido seguramente pondría en aprietos a las máquinas, tanto hoy como en cualquier futuro cercano.

Considero, sin embargo, que el artículo adolece de dos flancos débiles. En primer lugar, los autores subestiman el ritmo al que progresa la inteligencia artificial, cuya importancia no debe desdeñarse. Es cierto que la capacidad humana para distinguir relaciones no creíbles se apoya en un vasto bagaje de conocimientos adquiridos a través de la experiencia. No obstante, los fundamentos para implementar en una máquina tales habilidades se vienen desarrollando desde hace decenios y sus aplicaciones son cada vez más numerosas. Sería ridículo dar por sentado que dichas tareas resulten en principio inalcanzables para una máquina o que se encuentren casi al límite de sus capacidades.

El segundo inconveniente reside en una confusión entre los conceptos de consciencia y de conocimiento integrado. Que una máquina demuestre comprender los elementos visuales y las relaciones entre ellos parece constituir un señal clara y un rasgo característico de la inteligencia. Pero ello no implica que cualquier máquina que exhiba semejantes facultades sea también consciente.

Por consciencia entendemos la percepción, común a todos los humanos, de que existimos; el darnos cuenta de nuestra propia entidad y de que somos parte del entorno con el que interactuamos. Con independencia de cómo la definamos y la identifiquemos en última instancia, tanto la percepción del propio yo como la del yo frente al entorno parecen atributos esenciales de la consciencia. El test propuesto por los autores no depende de estos atributos ni distinguiría entre las máquinas que los poseyesen y las que careciesen de ellos.

Rick Hayes-Roth
Profesor de sistemas de información
Escuela Naval de Posgrado
Monterey, California

SIN DEFENSAS

El artículo «Carne de laboratorio», de Jeffrey Bartholet [Investigación y Ciencia, agosto de 2011], deja de lado un asunto de gran importancia. A diferencia de los animales, la carne sintética que propugna el autor carece de sistema inmunitario. Los cultivos, muy ricos en nutrientes, deberían realizarse por tanto en un entorno completamente libre de microorganismos, lo que implicaría un incremento considerable en los costes de producción. Un solo contaminante podría arruinar toneladas de carne. Si la solución pasa por emplear antibióticos, habría que sopesar los beneficios de una producción masiva y ética de carne animal frente al riesgo de generar bacterias resistentes a los antibióticos.

Louis de Léséleuc
Grupo de inmunidad e infecciones
Consejo Nacional Investigador de Canadá



Agosto 2011

CARTAS DE LOS LECTORES

Investigación y Ciencia agradece la opinión de sus lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:

PRENSA CIENTÍFICA, S.A.
Muntaner 339, Pral. 1ª, 08021 BARCELONA
o a la dirección de correo electrónico:
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. Investigación y Ciencia se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.

BIOLOGÍA MARINA

Poco ruido y muchas burbujas



La contaminación acústica en los océanos se ha intensificado debido al aumento de la navegación comercial, las prospecciones de petróleo y gas, y otras actividades. Cada vez hay más indicios de que los ruidos de baja frecuencia de estas y otras procedencias pueden dañar órganos delicados de calamares, pulpos y sepias.

Una forma de proteger a los organismos marinos consistiría en construir fuertes barreras sólidas, probablemente costosas, en torno a las fuentes de ruido o a las áreas que se desee proteger. Los expertos en acústica han descubierto ahora la posibilidad de utilizar burbujas en lugar de barreras; algunos están realizando experimentos con ligeras cortinas de aire que absorben y reflejan las ondas sonoras.

Las ondas de baja frecuencia presentan una gran longitud de onda, lo que exigiría emplear burbujas de gran tamaño: unos diez centímetros o más. Por desgracia, las burbujas formadas espontáneamente (como las que surgen al introducir aire en los acuarios domésticos) que superan los diez centímetros se dividen en otras más pequeñas. Para mantener el tamaño de las burbujas, los investigadores las rodean de finas películas de látex y las atan juntas como si de globos se tratara. Las pruebas de laboratorio realizadas con las burbujas de látex demuestran que, agrupadas en capas, amortiguarían el sonido en 44 decibelios, la diferencia de ruido entre una calle con mucho tráfico y una biblioteca. El grupo de Mark S. Wochner, de la Universidad de Texas en Austin, presentó estos resultados en un congreso reciente de la Sociedad Acústica de EE.UU. celebrado en Seattle. Ahora pretende comprobar el efecto de esas burbujas al colocarlas alrededor de una barcaza en un lago de Texas y, más adelante, de buques marítimos de gran tamaño y de parques eólicos en el mar.

Puede que las burbujas no resuelvan del todo la contaminación acústica. Aunque amortigüen el sonido procedente de fuera del agua, desde el lecho marino se seguiría transmitiendo el 10 por ciento del ruido provocado por las actividades de perforación, afirma Peter Dahl, experto en acústica de la Universidad de Washington. El equipo de Dahl está analizando la naturaleza de ese sonido para hallar otras formas de eliminarlo.

—Charles Q. Choi

MEDICINA

Nuevos riesgos de la cocaína

Las autoridades sanitarias han añadido un elemento más a la larga lista de riesgos que conlleva el consumo de cocaína: la púrpura, una erupción cutánea causada por hemorragias internas de pequeños vasos sanguíneos. Dos estudios recientes han documentado casos de cocainómanos que acudían al servicio de urgencias con zonas de piel ennegrecida y necrótica en las orejas, rostro, tronco o extremidades. La dolencia causa cicatrices y a veces exige una cirugía reparadora. Noah Craft, dermatólogo del Centro Médico Harbor de la Universidad de California en Los Ángeles y coautor de un estudio sobre este trastorno (publicado en línea por el *Journal of the American Academy of Dermatology* el pasado mes de junio), afirma que suele ver un afectado cada mes.

La erupción está causada por un medicamento antiparasitario de uso veterinario, que se ha convertido en la sustancia más habitual para diluir o «cortar» la cocaína que llega a Estados Unidos desde América del Sur. El medicamento, denominado levamisol, se había autorizado en el pasado para tratar el cáncer, pero luego se prohibió debido a sus efectos secundarios. Tres cuartas partes de los ladrillos de cocaína incautados por la Agencia Estadounidense de Lucha contra la Droga (DEA) contienen levamisol.



A flor de piel: Un paciente con erupción cutánea púrpura.

También despierta preocupación otro de sus efectos secundarios: una reducción de los niveles de neutrófilos (un tipo de glóbulos blancos de la sangre) que puede resultar mortal. Los médicos sospechan que ambos efectos constituyen reacciones alérgicas al medicamento. En una de ellas, el sistema inmunitario ataca a la piel, mientras que en la otra, ataca a la médula ósea.

Puede que los traficantes añadan levamisol a la cocaína para abaratar el precio de la droga pura y para potenciar su efecto estimulante. Varios estudios publicados entre los años setenta y noventa, cuando se propuso y luego se autorizó el levamisol para uso médico en EE.UU., revelaron que la sustancia mejoraba el estado de ánimo y causaba insomnio y estado de hiperalerta, efectos similares a los de la cocaína.

Por ahora, la DEA no va a cambiar su forma de perseguir a los traficantes, afirma Barbara Carreno, portavoz de la agencia. Los médicos, por su parte, están aprendiendo a detectar más pronto la erupción cutánea. Craft ha añadido fotos de sus pacientes a un sistema informático de alerta utilizado por 1300 hospitales en todo el país.

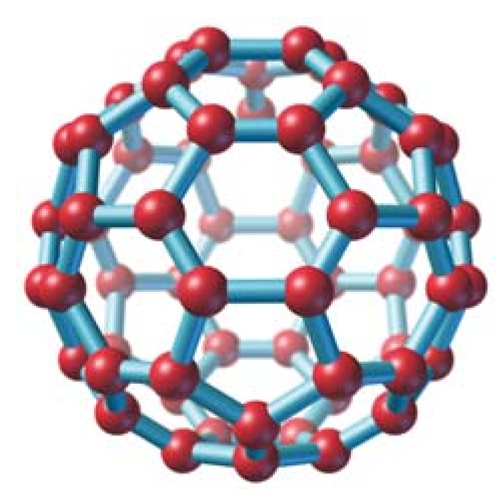
—Francie Diep

CORTESÍA DE JAMES PIPER *Universidad de Texas en Austin (burbujas)*; CORTESÍA DE LOGICAL IMAGES, INC. *(oreja)*

QUÍMICA

El descubrimiento de las buckybolas y los nanotubos

Los fullerenos, una forma de carbono distinta al diamante y al grafito, deben su descubrimiento a un chorro supersónico, aunque no de la variedad aeronáutica. En 1985, en la Universidad Rice el difunto Richard E. Smalley, Robert F. Curl y Harold W. Kroto (visitantes de la Universidad de Sussex), junto con los doctorandos James R. Heath y Sean C. O'Brien, estaban estudiando el carbono con una potente herramienta en cuya primera puesta a punto había colaborado Smalley: la espectroscopía de láser por chorro supersónico. Se trata de un sistema de análisis en el que un láser vaporiza pequeñas porciones de la muestra; el gas resultante, compuesto por agrupaciones de átomos de diversos tamaños, se enfría entonces con helio y se bombea en forma de chorro a una cámara enrarecida. Las agrupaciones se expanden supersónicamente, con lo que se enfrían y se estabilizan para su estudio.



En sus experimentos con el grafito, el equipo de Rice registró numerosas agrupaciones de carbono, cada una de las cuales contenía el equivalente a 60 átomos. Ello los intrigó, pues no tenían ni idea de cómo 60 átomos podrían haberse organizado de forma tan estable. Sobre el acertijo estuvieron cavilando durante dos semanas de discusiones, muchas veces acerca de la comida mexicana, antes de dar con la solución: debe haber un átomo de carbono en cada vértice de 12 pentágonos y 20 hexágonos dispuestos como las piezas de una pelota de fútbol. Llamaron a esa molécula buckminsterfullereno, en tributo a los similares domos geodésicos de Buckminster Fuller [*véase* «Fullerenos», por Robert F. Curl y Richard F. Smalley; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 1991]. Su descubrimiento disparó unas investigaciones que desembocaron en versiones alargadas del mismo: los nanotubos de carbono. Fueron descritos por Sumio Ijima, de NEC, en un artículo publicado en 1991 que tuvo una gran difusión.

Tanto las buckybolas como los nanotubos pudieron haber sido descubiertos antes. En 1970, Eiji Osawa, de la Universidad Técnica de Toyohashi, postulaba que 60 átomos de carbono podrían adoptar forma de esfera. Pero no lo consiguió en la práctica. En 1952, dos investigadores rusos, L. V. Radushkevich y V. M. Lukyanovich, describieron la producción de filamentos tubulares de carbón a escala nanométrica; publicado durante la guerra fría, el documento recibió escasa atención en Occidente.

Tal como resultó, los buckminsterfullerenos no son de obtención difícil. Se forman de modo natural en múltiples procesos de combustión en los que interviene el carbono (incluida la combustión de las velas) y de ellos hay trazas en el hollín. Desde el descubrimiento en Rice, se han ideado métodos más sencillos para conseguir buckybolas y nanotubos, como es el de cebar un arco eléctrico entre dos electrodos de grafito o impulsar un gas de hidrocarburo por la superficie de un metal catalizador. Los nanotubos de carbono han reclamado no pocos exámenes profundos; entre sus muchas propiedades intrigantes se cuenta la de poseer la mayor resistencia a la tracción de todos los materiales conocidos, con la capacidad de soportar esfuerzos cien veces mayores que los aceros estructurales.

Durante una entrevista con esta revista en 1993 [*véase Richard E. Smalley: Campeón de las buckybolas*", por Philip Yam; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 1993], Smalley, que falleció en de leucemia en 2005, comentaba que no le interesaban especialmente los beneficios económicos de los fullerenos. «Lo que más deseo», dijo, «es que dentro de x años, algunas de mis criaturas estén sirviendo para cosas útiles». Si tenemos en cuenta que los nanotubos están impulsando avances en electrónica, energética, medicina y ciencia de los materiales, es muy posible que su deseo se cumpla.

—Philip Yam

GEORGE RETSECK (*buckybola*); UNIVERSIDAD DE BARCELONA (*utillaje*)

AGENDA

CONFERENCIAS

7 de noviembre
Los límites del progreso en la ciencia y la sociedad
John Gray, Escuela de Economía de Londres
Ciclo «La cultura y la vida»
Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona
www.cccb.org

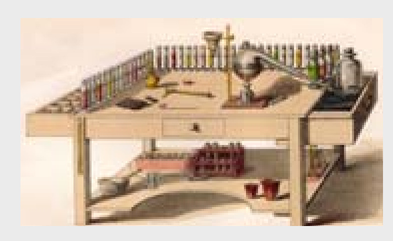
15 de noviembre
Generando luz con moléculas: Sistemas moleculares electroluminiscentes
Enrique Ortí Guillén, Universidad de Valencia
Facultad de Ciencias
Universidad de Málaga
www.ciencias.uma.es/conferencias

16 de noviembre
Química y arqueología
Josep María Parés, Coordinador del Programa de Geocronología del CENIEH
Museo de la Evolución Humana
Burgos
www.museoevolucionhumana.com

EXPOSICIONES

***Tyrannosaurus rex* ¿cazador o carroñero?**
Parque de las Ciencias
Granada
www.parqueciencias.com

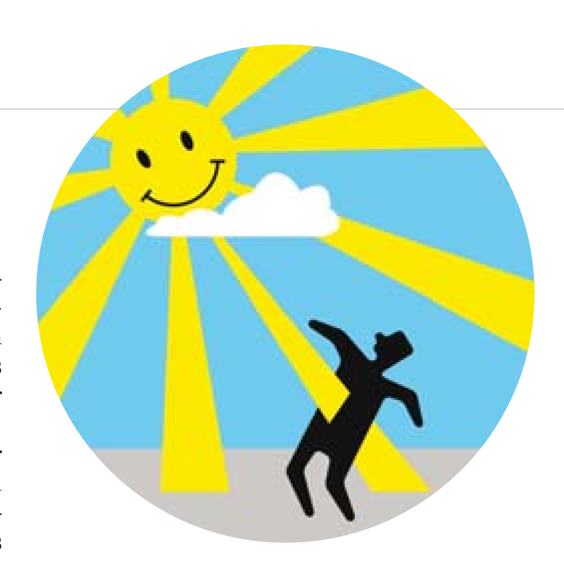
El utillaje químico en libros y catálogos
Biblioteca de Física y Química
Universidad de Barcelona
www.bib.ub.edu



OTROS

Durante el mes de noviembre
Semana de la ciencia
Actividades de divulgación científica en todo el territorio español
www.semanadelaciencia.es

5 y 19 de noviembre
Jornadas de astronomía
Centro de Observación del Universo
Parque Astronómico Montsec
www.parcastronomic.cat



PSICOLOGÍA

Los peligros del pensamiento positivo

Desde los grandes atletas hasta los entusiastas de la autoayuda, los partidarios del pensamiento positivo —imaginar el éxito de nuestros objetivos y deseos— creen que este supone una ayuda infalible para lograr una meta. Si bien algunos estudios han apoyado esta idea en el pasado, ahora los investigadores consideran que debe matizarse: pintar un futuro demasiado rosa podría dañar nuestras posibilidades éxito.

Una explicación propone que un pensamiento idealizado puede perjudicar la motivación, como indica un estudio publicado a comienzos de este año en el *Journal of Experimental Social Psychology*. Los investigadores pidieron a estudiantes universitarios que fantaseasen con resultados positivos ante ciertas situaciones, como gozar de un aspecto atractivo con zapatos de tacón alto, ganar un concurso de ensayos o conseguir un sobresaliente en un examen. Después, evaluaron el efecto de las fantasías sobre los participantes y la forma en que, en realidad, se desarrollaron los acontecimientos.

Los más soñadores sufrieron una disminución de la presión arterial y refirieron experiencias peores que los probandos más realistas o incluso que aquellos pesimistas. Para evaluar cómo transcurrieron los hechos en la vida real, los investigadores compararon las listas de objetivos que los participantes habían redactado con lo que realmente habían conseguido; también confiaron en la información aportada por los propios individuos. «Cuando uno fantasea sobre algo, sobre todo si se trata de algo muy positivo, es casi como si lo estuviera viviendo», afirma Heather Barry Kappes, de la Universidad de Nueva York y coautora del estudio. Eso engaña al cerebro, que cree que el objetivo ya se ha conseguido, y reduce los incentivos para esforzarse por lograrlo. Los resultados podrían ser mejores si, en lugar de ignorar los obstáculos, se piensa en cómo superarlos.

Esta actitud podría aplicarse también al deporte. Un estudio publicado en el número de julio de *Perspectives on Psychological Findings* sugiere que la revisión mental de todos los pormenores de una prueba atlética puede resultar más beneficiosa que imaginarse un resultado óptimo. «Se trata de pensamiento positivo, pero con instrucciones», afirma Antonis Hatzigeorgiadis, de la Universidad de Tesalia y autor principal del estudio.

—Alla Katsnelson

¿QUÉ ES ESTO?

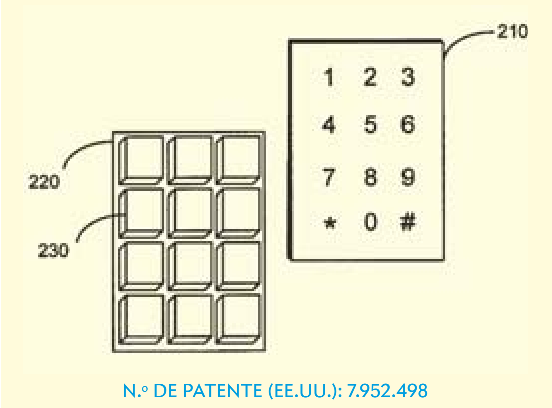


Un agujero en el cielo: Cualquiera que haya observado la estela de condensación de un avión, la línea irregular de vapor que deja cuando vuela a cierta altitud, sabe que los aviones producen sus propias nubes. Con menor frecuencia, las aeronaves crean también agujeros, como el que se distingue en esta imagen tomada en la Antártida, o trazan largos canales en nubes naturales ya existentes. Estas formaciones surgen como consecuencia del fuerte enfriamiento del flujo de aire sobre la hélice de un avión ordinario o sobre el ala de un avión a reacción. Un estudio publicado hace poco en la revista *Science* indica que este efecto puede provocar la congelación espontánea de las pequeñas gotas de agua que hay en la nube y estimular las precipitaciones. El fenómeno requiere unas condiciones particulares en las nubes y resulta improbable percibirlo a gran escala, aunque podría alterar el tiempo atmosférico de las zonas próximas a los aeropuertos. *—John Matson*

THOMAS FUCHS (*Sol*); CORTESÍA DE *SCIENCE*/AAAS (*agujero en el cielo*)

Interfaces táctiles: Al teclear un número o ajustar el volumen sobre la pantalla de un teléfono inteligente, la sensación táctil es siempre la misma, con independencia de dónde pulsemos. Ahora, la compañía Verizon propone una nueva interfaz para remediar ese detalle.

La idea consiste en emplazar un dispositivo mecánico bajo la pantalla que eleve algunas partes de la superficie según el gráfico mostrado. Al marcar un número, aparecería un teclado de teléfono; si se desea cambiar de canción, emergerían los controles de pausa y avance rápido. Así no solo se conseguiría un mayor estímulo sensorial, sino que, al distinguir con mayor facilidad unas teclas de otras, se reducirían los errores. «Se sentiría una elevación sutil en la pantalla», explica George Higa, diseñador de interfaces de usuario de Verizon. La patente no especifica qué dispositivo emplearía Verizon para hacer sobresalir los botones. Sin embargo, Higa confía en que el rápido avance de la tecnología ofrecerá pronto varias opciones.



N.º DE PATENTE (EE.UU.): 7.952.498

Los investigadores han demostrado la posibilidad de recrear estímulos táctiles mediante matrices de patillas metálicas, chorros de aire y corrientes eléctricas. Allison M. Okamura, profesora de ingeniería mecánica en la Universidad Johns Hopkins, es de la opinión de que las interfaces hápticas (basadas en el sentido del tacto) abundarán en el futuro.

El mayor desafío sigue siendo adaptar la técnica a los aparatos de bolsillo. Un grupo de investigadores de la Universidad Noroccidental ha diseñado un dispositivo (TPaD) que, mediante ultrasonidos, hace vibrar la pantalla de tal manera que algunas zonas aparecen resbaladizas al tacto; además, los programadores pueden modular la fricción en las diferentes partes de la pantalla. Por desgracia, el menor de estos dispositivos cuenta con quince centímetros de alto y cinco de espesor. «Aunque sería estupendo disponer de un aparato como el que describe [Verizon], no sé cómo podría caber en un teléfono», indica Okamura.

—Adam Piore

ANTROPOLOGÍA

La forma de la nariz

Hace tiempo que los expertos se preguntan por la relación entre la forma y la función de la nariz. Ahora, algunas investigaciones apuntan a que el clima podría haber desempeñado un papel importante en la evolución de la estructura interna de este órgano.

Un estudio halló que las personas originarias de zonas con climas fríos y secos, como Groenlandia o Siberia, poseían cavidades nasales más altas y estrechas que las de quienes procedían de zonas cálidas y húmedas, como Papúa Nueva Guinea o Gabón. El equipo, liderado por Marlijn Noback, de la Universidad Eberhard Karls de Tubinga, tomó medidas asistidas por ordenador de las cavidades nasales de cien cráneos, los cuales pertenecían a diez grupos humanos que habían habitado cinco regiones climáticas diferentes. Noback encontró que las cavidades nasales de los habitantes de zonas frías y secas eran más altas; además, el cambio de diámetro de la cavidad en su parte superior era mayor y más abrupto que el de los habitantes de zonas cálidas y húmedas. Los resultados fueron publicados el pasado mes de junio en la edición en línea del *American Journal of Physical Anthropology*.

Ese estrechamiento del conducto nasal aumenta el contacto entre el aire y el tejido mucoso, con lo que contribuye a calentar y humidificar el aire. Los habitantes de climas fríos y secos muestran también una cavidad nasal más prolongada, lo cual aumenta el recorrido para conseguir que el aire entrante se ajuste a la temperatura corporal. Además, los cilios microscópicos que recubren el conducto nasal, cuya función consiste en proteger contra los patógenos y el polvo, funcionan mejor cuando el aire es húmedo. «Calentar y humidificar adecuadamente el aire es importante para la salud respiratoria en los climas más fríos», afirma Nathan Holton, paleoantropólogo de la Universidad de Iowa.



En las poblaciones adaptadas a climas cálidos, el aire inhalado no se dirige hacia la parte superior y más estrecha de la cavidad nasal para calentarse. «Las personas procedentes de climas cálidos que se trasladan a regiones más frías serían más proclives a sufrir resfriados y trastornos relacionados», sugiere Noback.

¿Qué nariz tiene usted? Aunque no se pueda saber demasiado sobre la estructura interna de la nariz contemplando su aspecto exterior, Holton afirma que una cavidad interna de mayor longitud aparece con mayor frecuencia en las narices estrechas y prominentes.

—Joan Raymond

CORTESÍA DE LA OFICINA DE PATENTES Y REGISTROS DE EE.UU. *(interfaces táctiles)*; THOMAS FUCHS *(nariz)*

RADIACIONES

Radiofrecuencias y salud

Las ondas electromagnéticas son ubicuas, especialmente en entornos urbanos. ¿Suponen algún riesgo?

En la era actual de las telecomunicaciones, el espacio que nos rodea se ha convertido en el canal que más tráfico de información soporta. Ello se debe a la creciente transmisión de datos por medio de radiofrecuencias, la región del espectro electromagnético con frecuencias comprendidas entre algunos kilohercios y unos 100 gigahercios (la luz visible ronda los 500 terahercios). Hoy en día no existe rincón del planeta al que no lleguen ondas electromagnéticas procedentes de algún sistema de comunicación. Esta circunstancia ha despertado el interés sobre los posibles efectos de las radiofrecuencias sobre la salud.

En general, las señales de frecuencia más elevada requieren un mayor número de antenas, puesto que sufren una atenuación mayor y, por tanto, un menor alcance espacial. Factores como el tipo de terreno o las condiciones climáticas perturban la propagación de las ondas, por lo que a menudo han de instalarse repetidores pasivos o regenerativos que recuperen y retransmitan la señal. Tales necesidades implican un aumento del número de transmisores y de su potencia, sobre todo en ámbitos urbanos.

Esa proliferación se ha vuelto particularmente notoria en el caso de los sistemas de telefonía móvil, los cuales han evolucionado a gran velocidad durante los últimos años. Del sistema conmutado por circuitos de GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) se pasó al GPRS (Servicio General de Paquetes por Radio), que añadía la conmutación de datos por paquetes. Más tarde se adoptó el sistema UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles), a fin de mejorar la velocidad y el acceso a los datos. Hoy, la cuarta generación de móviles persigue la convergencia hacia el protocolo estándar de Internet IP de voz y datos, lo que supone un debate sobre la tecnología subyacente: LTE (Evolución a Largo Plazo), WIMAX (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), o ambas.

Todos los sistemas mencionados se sirven de estaciones base o antenas y terminales de comunicación (teléfonos, puntos de acceso Wi-Fi, *bluetooth*, etcétera). Por su parte, las operadoras desean que estos presten el máximo de servicios y que sean compatibles con cuantas plataformas existen, lo cual conlleva una multiplicidad y diversidad de señales con frecuencias cada vez más elevadas, soportadas por un número creciente de antenas transmisoras y receptoras.

Interacción con el organismo

Resulta, por tanto, natural preguntarse por los posibles efectos de las radiofrecuencias sobre el organismo. A diferencia de las ondas electromagnéticas de mayor energía (rayos X o gamma), las radiofrecuencias no son ionizantes; es decir, carecen de la energía necesaria para romper enlaces químicos y, por tanto, no pueden inducir efectos genotóxicos directos. Sin embargo, se admite que a altas potencias pueden provocar daños si elevan en 1 grado Celsius o más la temperatura de los tejidos expuestos. Sobre esta base «térmica», la OMS ha establecido umbrales de exposición ante estas radiaciones. El límite recomendado por la directiva europea y permitido por la legislación española se establece en 2 vatios por kilogramo (W/kg).

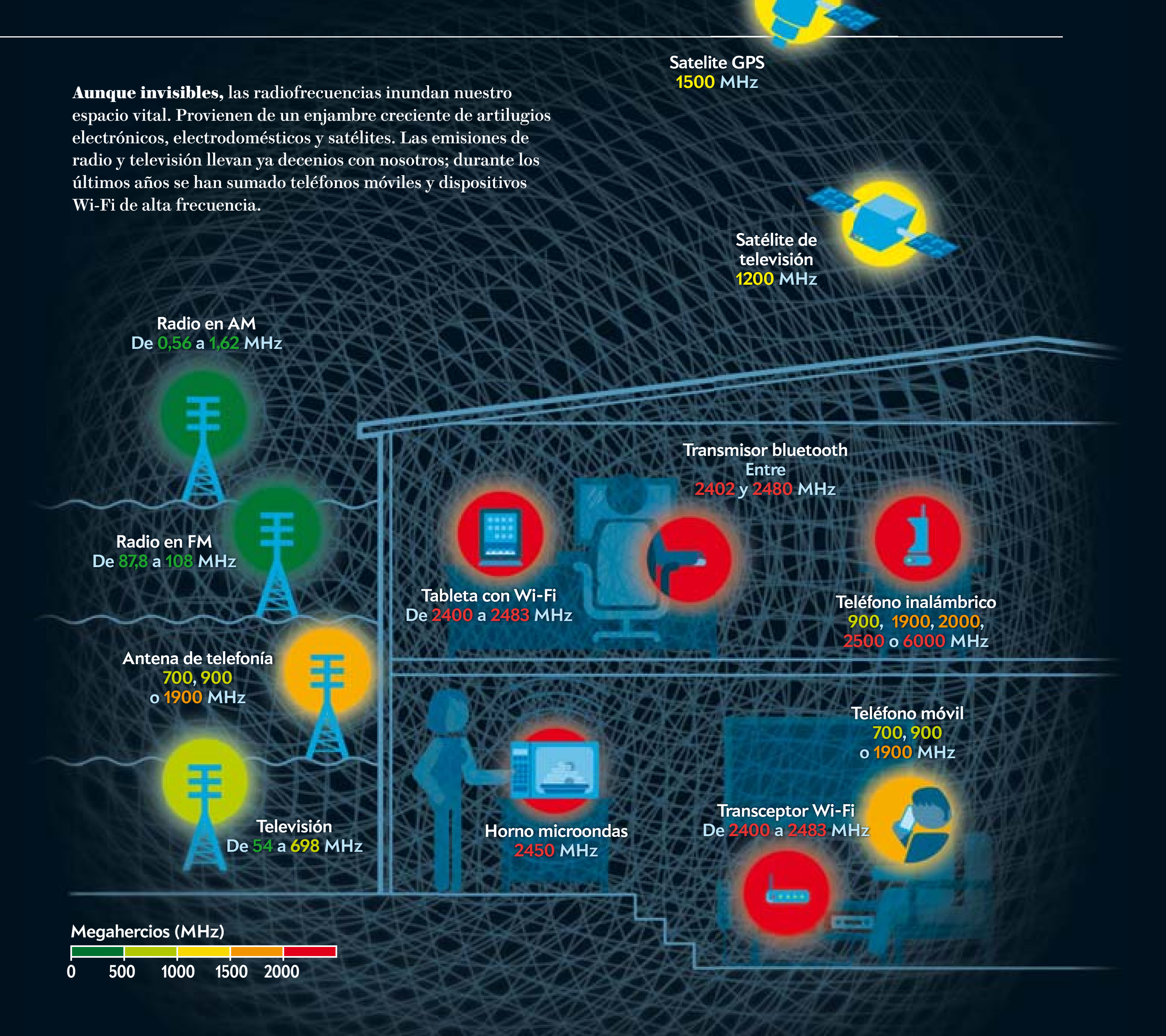
Datos dosimétricos recientes confirman que los niveles de exposición del público a radiofrecuencias de fuentes típicas, incluidas las estaciones de telefonía, quedan muy por debajo de dichos umbrales. Según los datos del proyecto suizo QUALIFEX, dirigido por Martin Röösli, del Instituto de Medicina Preventiva y Social de Basilea, para la suma de las emisiones de fuentes en campo lejano (antenas de telefonía, radio, televisión, etcétera), la tasa de absorción específica en el cuerpo completo de una persona asciende, de media, a 0,56 μW/kg. Por su parte, los teléfonos móviles constituyen la fuente más significativa de radiofrecuencias absorbidas por el cerebro. Los valores pico que llegan a alcanzarse en algunos puntos del tejido ascienden a 1 W/kg.

También se ha planteado la pregunta de si una exposición crónica a radiofrecuencias subtérmicas resultaría inocua a largo plazo. La cuestión concita el interés público. Al respecto, el Eurobarómetro de 2010 indicaba altos índices de preocupación entre la ciudadanía. En España, el 75 por ciento de la población opinó que las radiofrecuencias emitidas por las estaciones base podían afectar a la salud; en el caso de los teléfonos, el 68 por ciento.

La mayoría de los estudios sobre los posibles efectos de las radiaciones subtérmicas han versado sobre los teléfonos móviles. Varios trabajos han confirmado que exposiciones cortas (de entre 30 y 50 minutos) a sistemas GSM inducen respuestas neuroestimuladoras en voluntarios sanos. En general, se trata de cambios en la intensidad de las ondas electroencefalográficas registradas en el hemisferio cerebral expuesto. Otras investigaciones han hallado indicios de otros efectos sobre el sistema nervioso durante exposiciones cortas; entre ellos se incluyen efectos cognitivos (cambios en el tiempo de respuesta a pruebas de atención) e incrementos en el flujo sanguíneo o en el metabolismo de la glucosa en el hemisferio correspondiente. No obstante, esos efectos desaparecen minutos después de retirar la exposición, por lo que la OMS no los considera indicativos de nocividad, sino respuestas fisiológicas normales. Sin embargo, los fenómenos biofísicos subyacentes aún no han sido determinados, por lo que se considera necesario proseguir con la investigación al respecto.

Estudios epidemiológicos

Algunos resultados epidemiológicos recientes han despertado el interés sobre la posibilidad de que la exposición frecuente y prolongada a las emisiones de los teléfonos pudiera incrementar el riesgo de desarrollar diversos tipos de tumores en la cabeza (glándula salivar, neuroma de nervio acústico) o en el cerebro (gliomas). No obstante, dado que los procesos tumorales son en general lentos y que el uso masivo de la telefonía móvil es relativamente reciente, la OMS mantiene que aún es pronto para que los estudios epidemiológicos revelen, por sí solos, un potencial efecto cancerigeno. Concluye que en la actualidad carecemos de pruebas firmes de que las radiaciones emitidas por teléfonos móviles resulten nocivas y que, por tanto, no procede desaconsejar su uso.



Aunque invisibles, las radiofrecuencias inundan nuestro espacio vital. Provienen de un enjambre creciente de artilugios electrónicos, electrodomésticos y satélites. Las emisiones de radio y televisión llevan ya decenios con nosotros; durante los últimos años se han sumado teléfonos móviles y dispositivos Wi-Fi de alta frecuencia.

GRÁFICO DE JUDE BUFFUM; FUENTE: COMISIÓN FEDERAL DE COMUNICACIONES DE EE.UU.

Sin embargo, no puede descartarse que una exposición continuada pudiera representar a largo plazo un factor de riesgo. El pasado mes de mayo, la OMS emitió un comunicado al respecto en el que informaba de que la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer había clasificado los campos electromagnéticos producidos por teléfonos móviles como «posiblemente cancerígenos para humanos (Grupo 2B)» sobre la base de un riesgo incrementado de glioma asociado con el uso de teléfonos inalámbricos. La categoría 2B se aplica a agentes para los que los indicios son limitados en humanos e insuficientes en animales.

En este contexto, hay que subrayar que, aunque la exposición a la radiación de la telefonía móvil se confirmase como un factor capaz de incrementar a largo plazo el riesgo oncológico entre 1,3 y 3,2 veces (según el estudio y el tipo de tumor), la probabilidad de que un individuo desarrollase la enfermedad sería baja, ya que la incidencia espontánea de los tipos de tumores considerados asciende, en conjunto, a unos 9 casos al año por cada 100.000 personas. Sin embargo, desde un punto de vista social, el efecto podría ser relevante a medio plazo, sobre todo cuando la exposición es casi universal, se inicia en la infancia y se mantiene hasta edades muy avanzadas. Con ello en mente, expertos y autoridades sanitarias han aconsejado prudencia y animan a los usuarios a aplicar estrategias para minimizar la exposición a las emisiones de teléfonos móviles, especialmente en los niños (véanse las recomendaciones de la Sociedad Española de Protección Radiológica en www.sepr.es).

—M.ª Cristina Escobar
Ingeniera superior de telecomunicaciones por la UPC
Alejandro Úbeda
Servicio de Investigación-Bioelectromagnetismo
Instituto Ramón y Cajal de Investigación Sanitaria
Madrid

NEUROCIENCIA

El estrés de la multitud

Los habitantes de las grandes urbes no afrontan la presión psicológica del mismo modo que quienes viven en zonas menos pobladas

La vida en la gran ciudad puede resultar difícil: tráfico, aglomeraciones, ladrillos en lugar de árboles... Desde hace décadas, se sabe que los habitantes de zonas con densidades de población elevadas se muestran más proclives a padecer ciertas enfermedades mentales, entre las que se incluyen los trastornos de ansiedad o la esquizofrenia. Pero ¿funcionan de distinta manera el cerebro de un urbanita y el de quien habita en un medio rural? Varios estudios recientes parecen demostrar que así ocurre.

Un grupo de investigación alemán solicitó a habitantes de grandes ciudades, municipios pequeños y entornos rurales que se sometieran a un test psicológico de estrés. La prueba consistía en realizar cálculos aritméticos en un tiempo limitado; mientras tanto, los investigadores efectuaron resonancias magnéticas funcionales del cerebro de los probandos.

El experimento halló que la vida en la ciudad se hallaba correlacionada con una mayor actividad en la amígdala, una región del cerebro asociada a la memoria y la inteligencia emocional. El efecto se mostró tanto más notable cuanto mayor era la urbe en la que residían los individuos. Además, los participantes que se habían criado en un entrono urbano —incluso aquellos que después se habían trasladado a los suburbios o al campo— mostraban un mayor grado de activación en la corteza cingulada anterior; en esencia, la zona que controla la amígdala. Los resultados fueron publicados en junio en la revista *Nature*.

Tanto la magnitud como la especificidad del efecto resultan sorprendentes, destaca Andreas Meyer-Lindenberg, director del Instituto Central de Salud Mental de Mannheim y autor principal del estudio. Sin embargo, aún se desconoce por qué dichas regiones cerebrales se muestran más activas cuando el individuo sometido a estrés reside en una gran ciudad. Otro estudio reciente sugiere que la amígdala y la corteza cingulada anterior se estimulan cuando alguien invade nuestro espacio personal. «Quizá tenga que ver con la superpoblación», sugiere Meyer-Lindenberg.

Según Lisa Feldman Barrett, psicóloga de la Universidad del Noreste, dicha activación podría reflejar el mecanismo neural responsable de las relaciones entre personas. Un estudio suyo reciente halló una conexión entre el volumen de la amígdala y el tamaño de la red social de un individuo. ¿Quizás una amígdala mayor o más activa nos ayuda a recordar a los recién conocidos?

Una comprensión adecuada del mecanismo subyacente debería ayudar a los investigadores a responder a tales preguntas. La epidemiología tradicional necesita estudiar un gran número de sujetos para identificar efectos genéricos de este tipo. Ahora, sin embargo, es posible basarse en grupos reducidos para determinar qué papel desempeñan algunos factores concretos (como el ruido doméstico o la proximidad a una zona verde) en los trastornos mentales y, en general, en el estrés urbano. Meyer-Lindenberg habla de «neuroepidemiología». Esta nueva disciplina, a su vez, podría ayudar a los urbanistas a diseñar ciudades más placenteras.

—Alla Katsnelson

CHRISTIAN SCHMIDT, GALLERY STOCK



CONTAMINACIÓN

Zonas verdes urbanas frente al ruido

Se ha comprobado la influencia del tamaño del parque y de la cobertura arbórea en la mitigación del ruido urbano

La urbanización puede contemplarse como una enorme manipulación de las condiciones ambientales que influyen en los seres vivos; las ciudades, como fenómenos ecológicos emergentes en donde la congestión del tráfico, la contaminación del aire y otros problemas de las urbes modernas resultan de la interacción de numerosas variables. El ruido constituye una de las alteraciones ambientales más molestas. Está reconocido como uno de los que más deteriora la calidad de vida de los urbanitas, tanto en los países desarrollados como en los que se hallan en vías de desarrollo. Se ha comprobado que en Kahramanmaraş (Turquía) y en Curitiba (Brasil), el 97 por ciento de los sitios analizados presentaban niveles de ruido iguales o superiores a los 55 decibelios A (dBA, unidad que mide la potencia del sonido, ponderada según el perfil auditivo del oido humano). Hay que señalar que la Organización Mundial de la Salud ha considerado ese valor como un umbral que no conviene sobrepasar si se desean evitar las molestias por ruido en espacios abiertos.

Para un ecólogo del paisaje, las ciudades son ecosistemas en mosaico, configuradas como una matriz «gris», muy desarrollada y cubierta por superficies impermeables, salpicada por áreas o «parches» verdes. Las zonas verdes consisten en manchas de vegetación nativa que sobrevive en la ciudad o en jardines que se han construido más tarde. Representan recursos de ocio para los habitantes y contribuyen a disminuir la contaminación del aire o los niveles de ruido, pues actúan a modo de pantalla acústica. Ahora bien, debido al tamaño reducido de las áreas verdes y a la elevada contaminación de las ciudades modernas, algunos autores dudan de la utilidad de las mismas a la hora de mejorar la calidad ambiental del entorno urbano.

Ruido en la ciudad de Puebla

En México, quizá más que en otros países, se han descrito numerosas situaciones molestas ligadas al ruido. La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico lo considera un país en vías de desarrollo, en donde los asentamientos urbanos están creciendo de modo caótico e incontrolado. La población de México supera ya los 107 millones de habitantes, y casi un 70 por ciento de ella se concentra en áreas urbanas, como en la enorme ciudad de México, que compite por el dudoso honor de ser la más poblada del mundo. En los últimos tiempos, la cercana ciudad de Puebla y su área metropolitana están absorbiendo parte de ese crecimiento demográfico.

En un estudio reciente hemos evaluado las relaciones que se establecen entre los niveles de ruido en las áreas verdes de la ciudad de Puebla y su área metropolitana, y el tamaño y la vegetación arbolada de las mismas. Para ello, hemos registrado el ruido (nivel sonoro equivalente, expresado en dBA) en 21 zonas verdes de superficie y características diversas, y hemos descrito también la densidad y la cobertura de sus árboles.

Hemos comprobado que la contaminación acústica resulta habitual en los sitios estudiados: en el 76 por ciento de ellos el valor medio de ruido se situó por encima de los 55 dBA; es más, en el 43 por ciento se superaron los 65 dBA, valor límite señalado por el gobierno del Distrito Federal en sus normas ambientales.

Varios estudios han concluido que, entre otros factores, un bajo nivel de ruido contribuye a la sensación subjetiva de tranquilidad que se espera hallar en las áreas verdes urbanas, sensación que mejora la calidad de vida de las personas frente al estrés de la ciudad moderna. Sobre la base de nuestros datos, sería ingenuo pensar que las zonas verdes de la ciudad de Puebla y su área metropolitana representan un lugar aislado del «mundanal ruido». Aun así, hemos descubierto una relación negativa entre los niveles de ruido y el tamaño del parque y la cobertura de los árboles: a mayor tamaño del parque, y a mayor cobertura de la vegetación arbórea, menor es el valor de ruido medido. Esa tendencia resulta lógica: a igualdad de otros factores, el ruido se atenúa con la distancia conforme es absorbido, dispersado e interceptado por la vegetación. Se deduce entonces que se podrían mitigar los efec-



Parque El Tamborcito-Museo del Ferrocarril, una de las áreas verdes incluidas en el estudio sobre los niveles de ruido en la ciudad de Puebla y su área metropolitana.

tos adversos derivados de la contaminación acústica mediante extensas áreas verdes que presentaran una alta cobertura de árboles, compuesta en su caso por especies vegetales escogidas para tal fin. Otros autores han propuesto, además, incorporar superficies porosas que absorban el ruido.

Nuestro estudio refuerza la importante función ambiental de las áreas verdes en las ciudades. Recomendamos por tanto una evaluación exhaustiva de la contaminación acústica en los entornos urbanos, así como de sus efectos negativos sobre los componentes de los ecosistemas (incluidas otras especies, como las aves) y sobre la salud y conducta humanas. Además, convendría conocer mejor la manera de controlar o reducir esos efectos adversos, lo que no siempre resulta sencillo, ya que las características de la contaminación acústica dependen de numerosos factores, como las actividades económicas, la densidad de población o los «usos y costumbres» locales. Tanto es así que varios autores han señalado que la mitigación del ruido constituye más un reto de carácter político que de tipo científico o técnico. No actuar ahora puede suponer un empeoramiento de los problemas derivados de la contaminación acústica en el futuro, cuando las medidas correctoras tal vez resulten más caras y difíciles de aplicar.

Por último, recomendamos la declaración de «zonas tranquilas» en las que se trabaje activamente para mantener los niveles de ruido por debajo de cierto umbral, lo que contribuiría a lograr un modo de vida más saludable para los humanos y más amigable con la naturaleza.

—José Antonio González Oreja
Departamento de Ecosistemas
Neiker-Tecnalia, Instituto Vasco
de I+D Agrario, Derio

EPIDEMIOLOGÍA AMBIENTAL

Mejor en bicicleta o a pie

Los beneficios de la actividad física asociada al transporte urbano activo superan con creces los riesgos debidos a la inhalación de contaminantes y a los accidentes de tráfico

Muchos de los principales retos de la salud pública actual guardan relación con el desarrollo de las ciudades. En el último decenio, los campos de la planificación urbana y la salud han vuelto a reunirse con un entusiasmo que no veíamos desde el movimiento higienista de mediados del siglo xix. Pensemos en la extensión de Barcelona (el «Ensanche») que Ildefonso Cerdá planificó en 1859 con el objetivo de combatir enfermedades como la peste y el cólera, y mejorar la calidad de vida de la población, sobre todo de las clases populares —la estructura en cuadrícula, de manzanas con chaflanes de 45 grados, favorecía la movilidad, la mejora de las redes de servicios, el acceso de la luz natural, la ventilación, etcétera.

El sedentarismo, el sobrepeso y la obesidad, la contaminación del aire urbano y los accidentes de tráfico destacan entre las principales causas de muerte en el mundo. De ahí que la Organización Mundial de la Salud, las Naciones Unidas y el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático hayan recomendado la introducción de políticas urbanas que ayuden a combatir estas «epidemias» del siglo xxi.

Beneficios del transporte activo

El sedentarismo causa la muerte a 3,2 millones de personas cada año en el mundo. Asimismo, agrava muchas de las enfermedades crónicas más debilitantes (trastornos cardiovasculares, diabetes, cáncer de colon y de mama). Las limitaciones de las intervenciones de salud publica clásicas, enfocadas a fomentar en los individuos cambios que incrementaran su actividad física, han despertado el interés de los profesionales de la salud, que buscan ahora soluciones a nivel de toda la comunidad. Las políticas de transporte y planificación urbana que fomentan el «transporte activo» (ir a pie o en bicicleta) como alternativa a los vehículos de motor privados pueden contribuir a que la población adopte rutinas diarias más saludables.

MARÍA FRANCO

Dichas políticas pueden generar, además, otros beneficios. En primer lugar: la reducción de los contaminantes que desprenden los motores de combustión. La contaminación del aire urbano contribuye en un 3 por ciento a las muertes debidas a enfermedades cardiopulmonares y en un 1 por ciento a las derivadas de infecciones respiratorias agudas entre los niños menores de 5 años en todo el mundo. Es posible que estas cifras empeoren conforme la población urbana siga creciendo.

Las emisiones de los vehículos contribuyen también al cambio climático. La concentración de gases de efecto invernadero procedentes del transporte (un 23 por ciento en todo el mundo) siguen creciendo a un ritmo mayor que las producidas por cualquier otro sector. La disminución de las emisiones generadas por el transporte por carretera se presenta como la estrategia más eficaz para reducir el desequilibrio energético responsable del calentamiento global. Para rebajar las emisiones a un nivel que permitiera ralentizar la acumulación de estos gases sería necesario aplicar múltiples medidas: entre ellas, un cambio en las conductas de desplazamiento.

Además de reducir el sedentarismo, la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero, las políticas que fomentan el uso de la bicicleta pueden disminuir las lesiones por accidentes de tráfico (la segunda causa de muerte entre las personas con edades comprendidas entre los 5 y los 29 años), el ruido y la congestión de la circulación. Asimismo, los entornos que, como los parques, permiten la convivencia entre peatones y ciclistas facilitan la interacción social y el acceso a zonas verdes, ambos beneficiosos para la salud y la calidad de vida.

Riesgos del transporte activo

Pero no todo son ventajas. Debido al esfuerzo físico que exigen los medios de transporte activo, la dosis de contaminantes inhalados por viandantes y ciclistas puede superar a la dosis recibida por los usuarios de coche. Según nuestros estudios, si andamos durante 30 minutos por la ciudad inhalaremos la misma cantidad de contaminantes que si circulamos en coche durante el mismo periodo (sentados en el coche respiramos a un ritmo más lento que cuando andamos, pero el aire que inspiramos está más contaminado). Si diéramos un paseo en bicicleta (a unos 18 kilómetros por hora) o corriéramos (por la acera) a un ritmo moderado (8 kilómetros por hora) durante media hora dentro de la ciudad, inhalaríamos el doble de contaminación que si fuéramos en coche. Cuanto más rápido pedaleamos o corremos, más inhalamos, no cabe duda. Sin embargo, si nos desplazamos a pie o en bicicleta podremos elegir rutas por calles menos transitadas y, por tanto, menos contaminadas.

Peatones y ciclistas también están más expuestos a los accidentes de tráfico. Se dan diferencias notables entre países y entre ciudades (el riesgo de que ocurra un accidente mortal es casi 6 veces mayor para un ciclista por kilómetro recorrido en los EE.UU. que en Holanda). Sin embargo, aunque el uso de la bicicleta como medio de transporte puede aumentar el riesgo individual de sufrir un accidente, el efecto global puede ser el contrario, es decir, puede que se reduzca el número de accidentes. Ello se debe a la mayor confianza y seguridad que sentimos cuando sabemos que lo que hacemos, lo hacen también muchas otras personas. En Berlín, Londres, Ámsterdam y Copenhague, el incremento notable del uso de la bicicleta se ha visto acompañado por una menor incidencia de accidentes graves entre los ciclistas.



El balance

Para valorar los riesgos y los beneficios asociados al transporte activo, se han llevado a cabo varios estudios que han evaluado como afectarían a la salud (niveles de actividad física, exposición a la contaminación y riesgos asociados al aumento de accidentes de tráfico) una serie de cambios en los modos de desplazamiento que favorecen la marcha a pie o el uso de la bicicleta. Nos referimos a los trabajos realizados en Londres por James Woodcock, del Colegio Universitario de Londres, y en Holanda por Jeroen Johan de Hartog, de la Universidad de Utrecht.

En Barcelona, nuestro grupo ha llevado a cabo una investigación similar, cuyos resultados se publicaron el pasado mes de agosto en la revista *British Medical Journal*. Hemos calculado el impacto de una política específica de transporte activo, la bicicleta pública «Bicing», teniendo en cuenta los beneficios de la actividad física en los usuarios y el aumento de riesgos debido a la inhalación de contaminantes y los accidentes de tráfico.

En los tres estudios, la conclusión es la misma: cambiar los patrones de desplazamiento en favor de otros más activos generaría beneficios para la salud pública, debido al incremento de la actividad física. Cuando montamos en bicicleta, los beneficios del ejercicio superan con creces los riesgos añadidos de accidentes e inhalación de aire contaminado.

Según los resultados de nuestra investigación, gracias al uso habitual del Bicing, el número de muertes anuales disminuye en un 24 por ciento (12 muertes menos). Calculamos que, en cuanto a los impactos en la mortalidad, los beneficios eran 77 veces mayores que los riesgos debidos a la contaminación y los accidentes de tráfico. Incluso si se exagera la tasa de inhalación o se disminuye el incremento de la actividad física, se llega a la misma conclusión: los beneficios de la actividad física al desplazarse en bicicleta dentro de la ciudad son mucho mayores que los riesgos debidos a la contaminación del aire y los accidentes de tráfico.

Conclusión

Si bien cabe esperar grandes beneficios de las medidas que fomentan el uso del transporte activo, todavía queda mucho para poder evaluar con exactitud cuáles son las mejores políticas urbanas que fa-

vorezcan la salud de los ciudadanos. Dentro del proyecto Transporte Contaminación del Aire y Actividades Físicas (TAPAS, por sus siglas en inglés, tapas-program.org), estamos estudiando el efecto de políticas urbanas en los comportamientos de transporte y sus consecuencias en la salud a través de varias ciudades europeas: Barcelona, Basilea, Copenhague, París, Praga y Varsovia.

Pero no basta con identificar las mejores estrategias. Se nos plantea un reto más importante todavía: convencer a los gobernantes de la importancia del desarrollo urbano y las políticas de transporte que favorezcan los desplazamientos a pie y en bicicleta.

—Audrey de Nazelle
Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental (CREAL)
Barcelona

QUÍMICA

Baldosas descontaminantes

Se ha desarrollado una cerámica fotocatalítica que elimina el monóxido de nitrógeno del aire

Uno de los problemas más graves en las sociedades modernas corresponde a la contaminación y degradación del medio como consecuencia de la actividad humana. La contaminación atmosférica es originada en su mayor parte por la emisión de gases en los procesos de combustión. Entre estos se encuentran los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los de azufre (SO_x), junto con hidrocarburos sin quemar provenientes de los tubos de escape de los coches.

Puesto que el azufre se encuentra en el petróleo (sobre todo en las fracciones más pesadas), el carbón y otros combustibles fósiles, la forma de reducir la emisión de SO_x pasa por el empleo de combustibles cada vez más limpios y con menor contenido en azufre.

La contaminación atmosférica derivada de los NO_x no se debe a la composición del combustible, sino a la del aire, por lo que es aún más difícil de evitar. A temperaturas elevadas, el nitrógeno gas, presente en un 78 por ciento en la atmósfera y en general inerte, reacciona con el oxígeno para dar lugar a una mezcla de gases NO_x, entre los que predomina el monóxido (NO). Estos compuestos, cuya concentración en zonas urbanas y condiciones climatológicas adversas puede llegar a ser elevada, producen efectos nocivos en el medio (niebla fotoquímica, lluvia ácida) y en los seres vivos (irritación de mucosas, trastornos respiratorios y alteraciones cardiovasculares). De ahí que se haya elaborado una directiva europea sobre calidad del aire que limita las concentraciones máximas de NO_x.

Oxidación fotocatalítica

En ese contexto resulta de gran utilidad el dióxido de titanio (TiO_2), sólido no tóxico que suele emplearse a modo de pigmento blanco en pinturas y como bloqueador de la luz en cremas solares. En su forma mineral anatasa y con tamaño reducido de partículas, este compuesto reduce la concentración de NO. Presenta, pues, un efecto descontaminante.

Por la acción de la radiación ultravioleta, presente en un pequeño porcentaje en la luz solar, el TiO_2 en contacto con el aire produce la oxidación del NO en iones nitrato (NO_3^-). Estos iones constituyen abonos para plantas y se hallan presentes en las aguas superficiales, por lo que la conversión de NO en NO_3^- supone resolver el problema de la contaminación debida al NO. Si se colocara en áreas urbanas TiO_2 de forma que este material estuviera expuesto a las radiaciones solares durante las horas diurnas, podría reducirse la concentración atmosférica de NO.

Baldosas fotocatalíticas

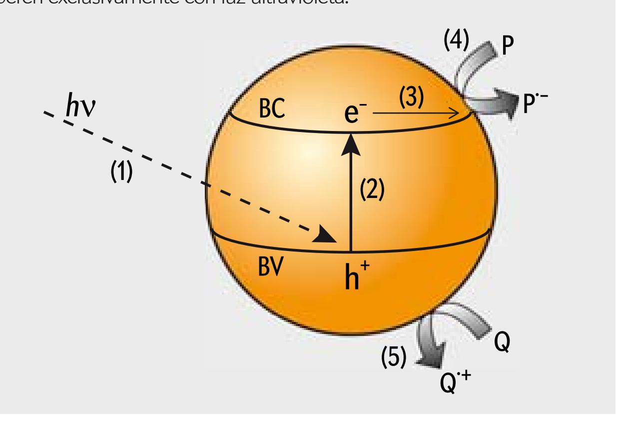
La principal limitación del TiO_2, y de cualquier catalizador en general, es el decaimiento de la actividad con el uso. En el caso del TiO_2 para la reducción de NO en el aire, los estudios en el laboratorio han demostrado que el ión NO_3^- que se va for-

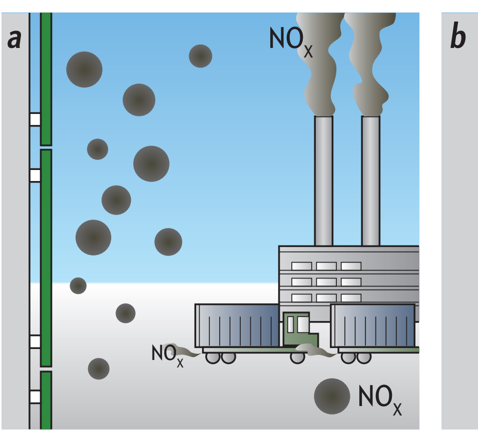
FOTOCATÁLISIS CON LUZ SOLAR

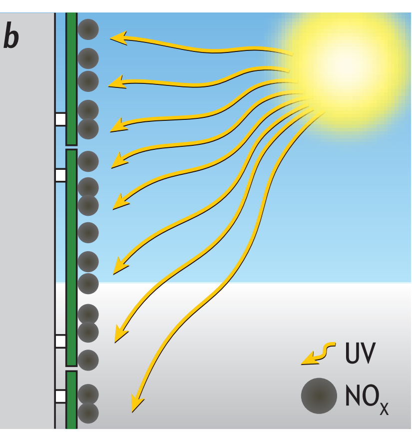
Un fotocatalizador (*naranja*) transforma la luz en energía química. Tras la absorción de un fotón (*1*), se produce la separación de cargas (*2*) con la promoción de un electrón a la banda de conducción (*BC*) y la formación de un hueco electrónico (h^+) en la banda de valencia (*BV*). A continuación tiene lugar la migración del electrón (*3*), que es atrapado por un reactivo P (*4*); otro reactivo Q atrapa el hueco positivo h^+ (*5*). Los estados posibles para un electrón son solo BV o BC. Los estados intermedios están prohibidos.

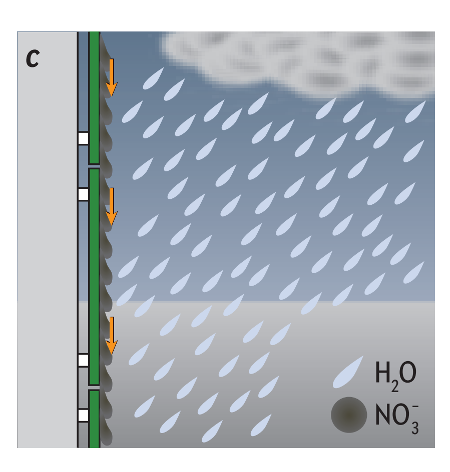
La separación de cargas tiene un tiempo de vida limitado, del orden de microsegundos o inferior. Durante ese tiempo, el fotocatalizador tiene la capacidad de producir, de forma simultánea, la reducción de un sustrato y la oxidación de otro. Estos productos reducidos (P^-) y oxidados (Q^+) poseen una energía superior a la de los sustratos de partida (*P* y *Q*), por lo que el resultado neto es que el fotón absorbido ha servido para originar intermedios reactivos.

La luz solar consta de una mezcla de fotones de longitudes de onda que van desde el ultravioleta cercano hasta el infrarrojo próximo, pasando por el visible. Desde el punto de vista de la descontaminación ambiental, lo más interesante sería que los fotocatalizadores absorbieran el mayor número de fotones provenientes del Sol, pero lo más común es que operen exclusivamente con luz ultravioleta.









Efecto descontaminante de una cerámica fotocatalítica comercial (BionicTile®). Los óxidos de nitrógeno (NO_x) originados en los procesos de combustión se acumulan en la superficie de las baldosas cerámicas (*a*). La luz solar las activa (*b*), produciéndose la oxidación del monóxido (NO) a nitrato (NO_3^-). Por fin, el agua de lluvia arrastra el nitrato hacia el suelo (*c*), donde sirve de abono para las plantas.

CERACASA

mando se deposita sobre la superficie del TiO_2, de modo que va bloqueando los centros activos donde ocurre el proceso redox.

En fecha reciente se ha patentado un material a base de TiO_2 que resuelve este problema. Este nuevo producto contiene un aditivo promotor cuya misión es atrapar los iones NO_3^-, lo que alarga la vida del fotocatalizador. Asimismo, esta composición fotocatalítica puede incluirse en la formulación de elementos cerámicos. Ello ha permitido obtener baldosas cerámicas que presentan actividad fotocatalítica para la reducción del NO.

Ensayos llevados a cabo con una atmósfera artificial controlada a la que se le añade una dosis inicial de NO a fin de simular una atmósfera urbana contaminada por emisiones provenientes del tráfico rodado han demostrado que las nuevas baldosas cerámicas fotoactivas eliminan la contaminación de NO sin producir ningún componente nocivo y, en particular, sin producir ácidos nitroso ni nítrico.

La incorporación de esas baldosas en los edificios los convertiría en una suerte de esponjas que absorberían los componentes nocivos del aire. El efecto producido guardaría semejanza con la función clorofílica de las plantas verdes, mediante la cual absorben la luz solar y la transforman en biomasa.

—Hermenegildo García
Instituto de Tecnología Química CSIC-UPV



CIUDADES

INTELIGENTES SOSTENIBLES MEJORES

Saber urbano

La ciudad como clave para afrontar los problemas de nuestro tiempo

La redacción

Resulta difícil determinar con precisión el momento en que el centro de gravedad del mundo se desplazó. Los humanos llevaban miles de años viviendo en entornos rurales. Trabajaban en granjas y aldeas, apenas sabían nada más allá de sus familias o vecinos más próximos y, por lo general, se las arreglaban solos. Lentamente, comenzaron a congregarse. Ocurrió primero en Mesopotamia y Egipto; después, en Grecia y Roma, y más tarde, en el resto de Europa y en América. Los últimos años han visto un rápido crecimiento en África y, de manera espectacular, en Asia. En 2008, según las Naciones Unidas, la balanza cayó del otro lado: por primera vez en la historia, la mayor parte de la humanidad habitaba en ciudades.

El hito en sí no reviste tanta importancia como la tendencia. Durante el siglo xx, la población urbana se decuplicó: de 250 millones, creció hasta los 2800. Según los pronósticos de las Naciones Unidas, en los próximos decenios el número de habitantes urbanos continuará aumentando. Se estima que en 2050 la población mundial superará los 9000 millones, 6000 de los cuales residirán en ciudades.

Para muchos pensadores por lo demás brillantes, como Thomas Jefferson, Frank Lloyd Wright o Gerald Ford, las ciudades han sido sinónimo de pobreza, delincuencia, contaminación, congestión e insalubridad. Durante los últimos años, sin embargo, tal opinión ha ido cambiando al compás de la demografía. Numerosos expertos han comprendido que el habitante de la ciudad se halla a menudo en una posición ventajosa. Nadie desdeña los problemas inherentes a la vida urbana; como podemos ver hoy en algunas de las regiones más pobres de África o Asia, las metrópolis

VINCENT LAFORET

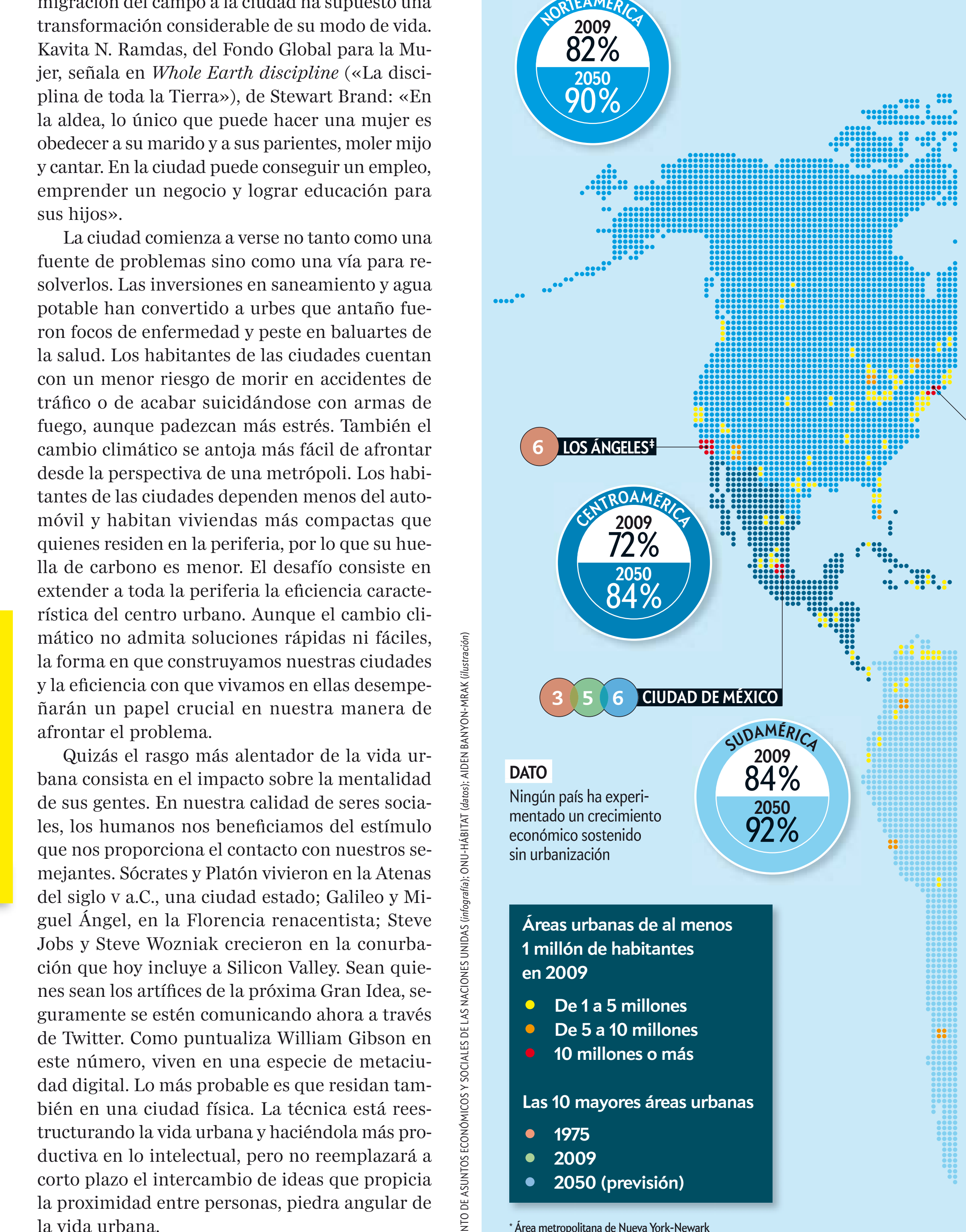
pueden engendrar también grandes dosis de sufrimiento. Pero incluso en los asentamientos chabolistas existen beneficios imposibles de hallar en una granja o una aldea. Para muchas mujeres, la migración del campo a la ciudad ha supuesto una transformación considerable de su modo de vida. Kavita N. Ramdas, del Fondo Global para la Mujer, señala en *Whole Earth discipline* («La disciplina de toda la Tierra»), de Stewart Brand: «En la aldea, lo único que puede hacer una mujer es obedecer a su marido y a sus parientes, moler mijo y cantar. En la ciudad puede conseguir un empleo, emprender un negocio y lograr educación para sus hijos».

La ciudad comienza a verse no tanto como una fuente de problemas sino como una vía para resolverlos. Las inversiones en saneamiento y agua potable han convertido a urbes que antaño fueron focos de enfermedad y peste en baluartes de la salud. Los habitantes de las ciudades cuentan con un menor riesgo de morir en accidentes de tráfico o de acabar suicidándose con armas de fuego, aunque padezcan más estrés. También el cambio climático se antoja más fácil de afrontar desde la perspectiva de una metrópoli. Los habitantes de las ciudades dependen menos del automóvil y habitan viviendas más compactas que quienes residen en la periferia, por lo que su huella de carbono es menor. El desafío consiste en extender a toda la periferia la eficiencia característica del centro urbano. Aunque el cambio climático no admita soluciones rápidas ni fáciles, la forma en que construyamos nuestras ciudades y la eficiencia con que vivamos en ellas desempeñarán un papel crucial en nuestra manera de afrontar el problema.

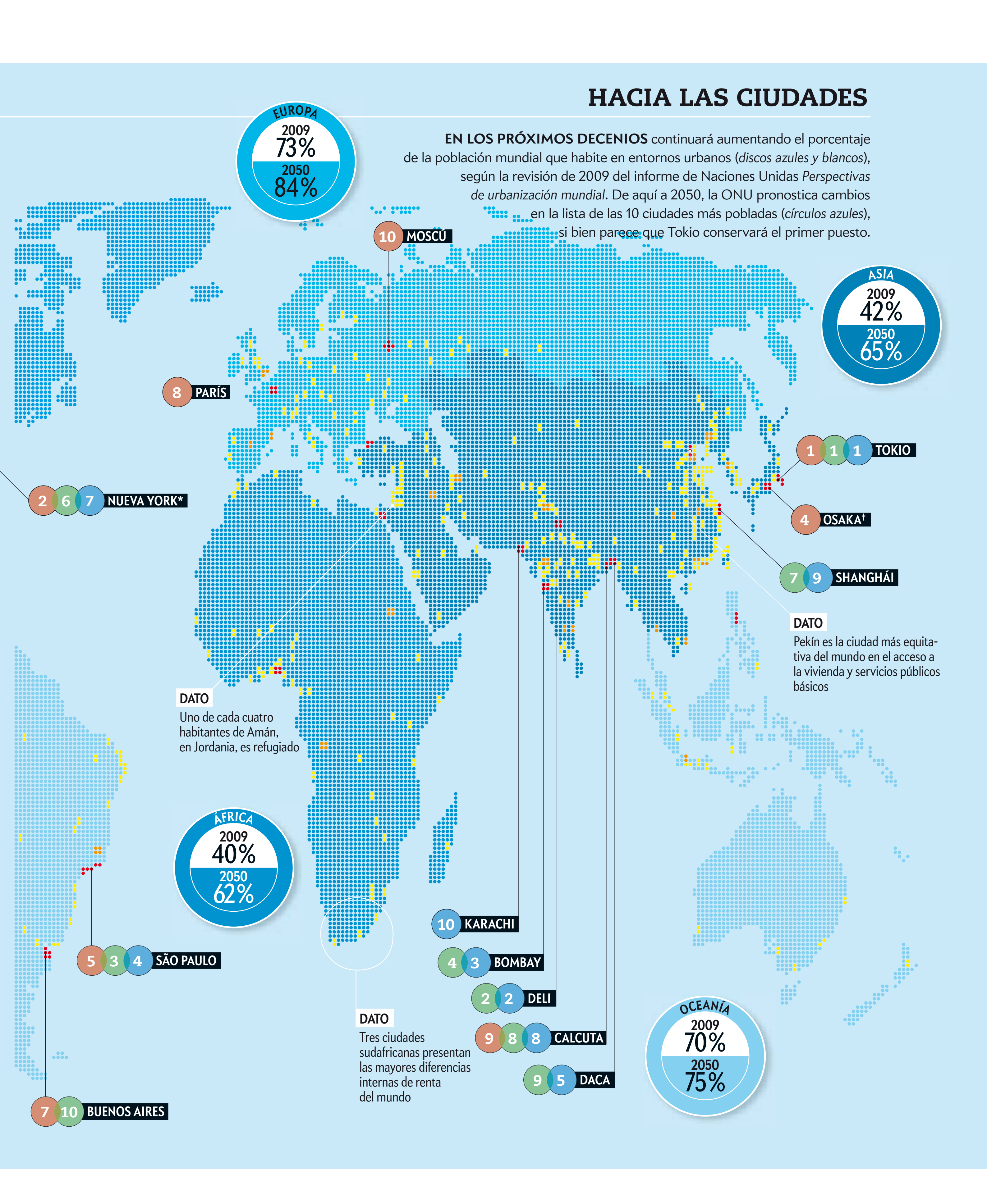
Quizás el rasgo más alentador de la vida urbana consista en el impacto sobre la mentalidad de sus gentes. En nuestra calidad de seres sociales, los humanos nos beneficiamos del estímulo que nos proporciona el contacto con nuestros semejantes. Sócrates y Platón vivieron en la Atenas del siglo v a.C., una ciudad estado; Galileo y Miguel Ángel, en la Florencia renacentista; Steve Jobs y Steve Wozniak crecieron en la conurbación que hoy incluye a Silicon Valley. Sean quienes sean los artífices de la próxima Gran Idea, seguramente se estén comunicando ahora a través de Twitter. Como puntualiza William Gibson en este número, viven en una especie de metaciudad digital. Lo más probable es que residan también en una ciudad física. La técnica está reestructurando la vida urbana y haciéndola más productiva en lo intelectual, pero no reemplazará a corto plazo el intercambio de ideas que propicia la proximidad entre personas, piedra angular de la vida urbana.

Este número invita a concebir la ciudad como una solución a los problemas de nuestra era. Hemos tratado de hacerlo según el auténtico espíritu urbano: alentando las mejores ideas.

227
MILLONES
Número total de personas que, según Naciones Unidas, han abandonado asentamientos chabolistas desde el año 2000.
FUENTE: UN-HABITAT



FUENTES: DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS (*infografía*); ONU-HÁBITAT (*datos*); AIDEN BANYON-MRAK (*ilustración*)


HACIA LAS CIUDADES
EN LOS PRÓXIMOS DECENIOS continuará aumentando el porcentaje de la población mundial que habite en entornos urbanos (*discos azules y blancos*), según la revisión de 2009 del informe de Naciones Unidas *Perspectivas de urbanización mundial*. De aquí a 2050, la ONU pronostica cambios en la lista de las 10 ciudades más pobladas (*círculos azules*), si bien parece que Tokio conservará el primer puesto.
EUROPA 2009 73% 2050 84%
ASIA 2009 42% 2050 65%
ÁFRICA 2009 40% 2050 62%
OCEANÍA 2009 70% 2050 75%
10 MOSCÚ
8 PARÍS
2 6 7 NUEVA YORK*
1 1 1 TOKIO
4 OSAKA†
7 9 SHANGHÁI
10 KARACHI
4 3 BOMBAY
2 2 DELI
9 8 8 CALCUTA
9 5 DACA
5 3 4 SÃO PAULO
7 10 BUENOS AIRES
DATO
Pekín es la ciudad más equitativa del mundo en el acceso a la vivienda y servicios públicos básicos
DATO
Uno de cada cuatro habitantes de Amán, en Jordania, es refugiado
DATO
Tres ciudades sudafricanas presentan las mayores diferencias internas de renta del mundo

La conexión social

El mejor modo de aumentar la creatividad en una urbe es dejar vía libre a las redes sociales de ciudadanos

Carlo Ratti y Anthony Townsend

El pasado 25 de enero, las calles de El Cairo estallaron contra la represión del régimen de Hosni Mubarak. En un intento de aplacar la rebelión, durante las 72 horas siguientes el Gobierno cortó el acceso a Internet y el sistema de telefonía móvil en todo el país. Todo fue en vano: un denso tejido de contactos en Facebook, Twitter y salas de conversación en línea ya había unificado a millones de cairotas, que prosiguieron con la revuelta. El Gobierno tuvo que ceder y restaurar las comunicaciones para mantener la actividad económica, pero las masas siguieron presionando hasta que, 14 días más tarde, Mubarak dimitió.

Unas semanas antes, durante la Revolución del Jazmín tunecina, el disidente, bloguero y organizador de la protesta Slim Amamou utilizó la aplicación para móviles Foursquare para informar sobre su arresto del 6 de enero. Sin más que introducirse en el icono que representaba la prisión en la que se hallaba, Amamou dio a conocer su paradero a una red mundial de partidarios. Poco después había atraído la atención mundial. La noticia suscitó nuevas revueltas; el veterano presidente Zine el-Abidine Ben Ali no tardó en ser depuesto.

Allí donde ha estallado la primavera árabe, la población se ha valido de Internet y de la telefonía móvil para librar un combate cuyo escenario era tanto el cuerpo como el alma de las ciudades: los recursos iban y venían del ciberespacio al espacio urbano. Compare estas transformaciones con los grandes proyectos de desarrollo urbano que durante los últimos años han competido para erigirse como futuro modelo de «ciudad inteligente». Un caso extremo lo constituye Masdar, en los Emiratos Árabes Unidos, una comunidad amurallada y proyectada para 50.000 habitantes en el desierto que rodea a Abu Dabi. Todos sus edificios, farolas y vehículos han sido planificados de antemano y equipados con tecnología punta a fin de obtener el máximo rendimiento energético. En Masdar, así como en la Nueva Ciudad de Songdo, en Corea del Sur, y en PlanIT Valley, en Portugal, los promotores inmobiliarios, las grandes multinacionales de tecnologías de la información y los Gobiernos intentan construir, partiendo de cero, núcleos urbanos dotados de infraestructuras y servicios de primera línea. Sus diseñadores sostienen que ideas semejantes determinarán la manera en que se construirán las ciudades futuras.

Como modelos, sin embargo, todos esos proyectos concebidos desde arriba palidecen ante la inteligencia colectiva que emerge cuando millones de residentes se conectan en red. Las ciudades verdaderamente inteligentes —que también son reales— no actúan como un ejército que sigue a pies juntillas las órdenes de sus mandos. Se asemejan más a una bandada de aves o a un banco de peces en el que los individuos responden a las sutiles insinuaciones de sus vecinos sobre la dirección de avance. Aunque las revueltas de El Cairo y Túnez parecieran incontroladas, sus acciones fueron fruto de una coordinación digital entre sus individuos a una escala sin precedentes. Los cientos de miles de personas que llenaron la plaza Tahrir en El Cairo fueron convocados por mensajes de texto y Twitter. Ello nos proporciona una nueva imagen de ciudad inteligente, de enorme poderío, democrática y orgánica.

Dirigentes municipales, empresas y asesores de urbanismo harían bien en estimular urbes inteligentes en las que los agentes del cambio fuesen sus habitantes. Con un soporte técnico adecuado, la población puede abordar problemas como el gasto energético, la congestión del tráfico, la atención sanitaria y la educación con mayor eficacia que las

EN SÍNTESIS

La autoorganización espontánea entre ciudadanos que permiten las redes sociales aporta una capacidad de creatividad e innovación mucho mayor que la de los modelos urbanos basados en una planificación centralizada.

Las verdaderas ciudades inteligentes llegarán cuando sus habitantes y los dispositivos electrónicos que portan se conviertan en sensores que informen a tiempo real sobre la vida cotidiana de la urbe.

La conexión en red entre sensores urbanos y su enlace con las bases de datos oficiales puede potenciar en gran medida la capacidad de inventiva y la eficiencia de los servicios municipales.

OLIVER MUNDAY





Carlo Ratti enseña en el departamento de estudios y planificación urbana del Instituto de Tecnología de Massachusetts, donde dirige el laboratorio Senseable City. También lleva a cabo proyectos arquitectónicos y de diseño urbano en Turín.

Anthony Townsend es director de investigación en el Instituto para el Futuro, un grupo de reflexión que desarrolla predicciones y situaciones estratégicas.

36,7
MILLONES
de personas habitan en el área urbana de Tokio-Yokohama, la región más poblada del mundo.
FUENTE: Demographia

normativas centralizadas. Además, los residentes de una ciudad interconectada disponen de medios para idear nuevas actividades sociales y un nuevo tipo de activismo ciudadano.

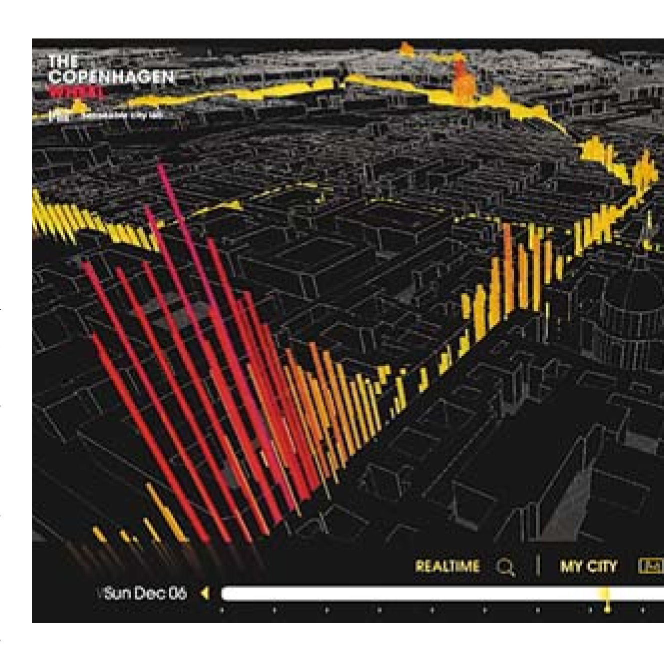
MÁS ALLÁ DE LA EFICIENCIA URBANA

Asistimos a una carrera hacia la creación de ciudades inteligentes. Empresas como IBM prevén un mercado de 10.000 millones de dólares en el sector para 2015. ¿A qué se debe? Lo que sucede hoy a escala urbana recuerda lo ocurrido hace veinte años en las carreras de Fórmula Uno. Hasta entonces, el éxito dependía de la mecánica del coche y la pericia del conductor; después, los avances en telemetría transformaron los vehículos en ordenadores controlados a tiempo real por miles de sensores: una máquina «inteligente» capaz de responder mucho mejor a las condiciones de la carrera.

De un modo parecido, las técnicas digitales han empezado a vertebrar una gran infraestructura inteligente en nuestras ciudades. Las redes de fibra óptica y las telecomunicaciones inalámbricas dan soporte a teléfonos móviles, teléfonos inteligentes y tabletas cada vez más asequibles. Proliferan las bases de datos abiertas, las cuales la población puede tanto consultar como poner al día y que sirven como fuente de información a ciudadanos más y menos instruidos. Si a esto se añade una red creciente de sensores y técnicas de control digital, aglutinados por ordenadores cada vez más potentes y económicos, pronto nuestras ciudades podrán calificarse como «computadoras a cielo abierto».

El enorme volumen de datos al que hoy tenemos acceso constituye el punto de partida para construir una estructura programable, eficiente y con la que la población pueda optimizar las actividades cotidianas de una urbe. La información a tiempo real sobre el estado de las carreteras, por ejemplo, aligera el tráfico y mejora la calidad del aire. Estocolmo cuenta con un sistema de peaje que registra de manera automática la matrícula de los vehículos que acceden al centro de la ciudad; después, carga la cantidad correspondiente en la cuenta bancaria del conductor, hasta un máximo de 60 coronas (6,5 euros) al día. Este sistema ha reducido hasta un 50 por ciento el tiempo de espera de los vehículos que atraviesan el centro y ha rebajado en casi un 15 por ciento las emisiones contaminantes. Mediante técnicas similares resulta posible disminuir el consumo de agua (como ha hecho la compañía de aguas del condado californiano de Sonoma) y, en general, mejorar los servicios públicos.

Dos proyectos recientes concebidos por el laboratorio Senseable City, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, ilustran el grado de inteligencia que puede alcanzarse. El proyecto Trash Track persigue el seguimiento de basuras en la cadena de gestión de residuos a fin de crear un «canal de evacuación» (lo opuesto a un canal de distribución) más eficiente. Para ello, en los desperdicios se colocan etiquetas electrónicas que transmiten la información a través de redes celulares. En una prueba realizada en Seattle, se rastrearon más de 2000 artículos: materiales reciclables (vidrio, metal y plástico); desechos peligrosos, como baterías recargables, y aparatos electrónicos diversos. Hubo objetos que atravesaron todo EE.UU. (un cartucho de impresora recorrió 6132 kilómetros); algunos llegaron a los sitios que disponía la ley, pero otros no. Se descubrieron así maneras de reducir las emisiones de dióxido de carbono gracias a un transporte de residuos más eficiente. Además, la ciudad de Seattle podrá emplear esa información para fomentar nuevos hábitos entre sus residentes, como reciclar con mayor frecuencia o deshacerse de la manera adecuada de productos peligrosos.



El segundo proyecto, LIVE Singapore!, proporciona en cada instante todo tipo de información sobre la ciudad de Singapur a partir de los datos registrados en tiempo real por infinidad de dispositivos de comunicación, microcontroladores y sensores. Los resultados sugieren nuevas formas de entender y aprovechar la urbe y, en último término, una percepción totalmente novedosa de la ciudad. La plataforma permite colaborar en el desarrollo de varias aplicaciones. Algunas muestran a los trabajadores el camino más rápido de regreso a casa, otras indican de qué manera puede reducirse el consumo de energía en el barrio, o cómo conseguir un taxi cuando una tormenta cruza la isla y parece que todos han desaparecido.

El potencial de desarrollo de infraestructuras inteligentes como las anteriores es enorme. No debe sorprender, pues, que numerosas multinacionales como IBM, Cisco Systems, Siemens, Accenture, Ferrovial y ABB hayan decidido incluir la gestión del espacio urbano entre sus objetivos.

CRECIMIENTO ORGÁNICO

Resulta simbólico que El Cairo se haya convertido en un modelo moderno de transformación ur-





bana, ya que una de las claves para entender qué factores hacen prosperar una urbe se encuentra en las civilizaciones del mundo antiguo. Los primeros asentamientos se debieron a la aparición de la agricultura, hace 10.000 años. Cuando el campo produjo excedentes, surgieron en los núcleos urbanos cuadrillas de trabajo e instituciones especializadas. Los mercados, templos y palacios crearon redes sociales adaptadas al comercio, al culto religioso y al gobierno. Con el tiempo, tales redes fueron estratificándose y se tornaron más complejas. Es en la sociabilidad, no en la eficiencia, donde reside el motor principal del desarrollo ciudadano.

Por más que hoy los grandes monumentos históricos conformen nuestra percepción de numerosas metrópolis de la antigüedad, la práctica totalidad del entramado físico de su tiempo fue erigida por ciudadanos comunes. La construcción se hallaba democratizada y descentralizada; discurría por libre y con una gran capacidad de adaptación. Al igual que la vida social y económica, formaba una rica tapicería de arquitectura comunal cuyos mejores logros se debían más al trabajo colectivo que a célebres arquitectos estrella.

De ese crecimiento orgánico de las primeras ciudades pueden extraerse varias lecciones de cara al futuro. La primera es que la planificación centralizada, al imponer un diseño preestablecido, suele fracasar a la hora de crear una ciudad ajustada a las necesidades de sus habitantes, que refleje su cultura y dé pie a la fructífera combinación de actividades característica de las grandes urbes. Los planes centralizados se basan, además, en hipótesis sobre las preferencias de la población, lo que implica su fragilidad ante los cambios. En las últimas décadas, numerosos proyectos para hogares inteligentes han fracasado porque sus diseñadores no supieron prever la manera en que los usuarios desearían integrar la tecnología en su vida cotidiana, ni cómo reaccionar ante situaciones imprevistas.

En segundo lugar, la planificación centralizada deja de lado la enorme capacidad innovadora que emerge de la organización espontánea de la población. Todos hemos presenciado cómo la descentralización del diseño ha transformado la Red en un entorno fascinante para la interacción social. Al ofrecer soluciones preconcebidas en lugar de la materia prima necesaria para construir el entramado físico y social de urbes más inteligentes, la planificación centralizada se priva de la posibilidad de descubrir nuevas ideas. Compárese el aluvión de propuestas que han aparecido en Nueva York a raíz de concursos municipales como BigApps con las vagas promesas sobre las ventajas de las videoconferencias en alta definición para la Nueva Ciudad de Songdo.

Por último, concentrarse únicamente en la eficiencia descuida metas cívicas fundamentales, como la cohesión social, la calidad de vida, la democracia y el respeto a la ley. La mejora de la sociabilidad a través de la tecnología persigue tales objetivos sin por ello dejar de lado la búsqueda de nuevas vías hacia la eficiencia. Por ejemplo, la aplicación Dopplr permite calcular y compartir la huella de carbono de los desplazamientos de los usuarios.

CONSTRUIR DESDE LOS CIMIENTOS

Si tomamos la sociabilidad como punto de partida para el diseño de las nuevas ciudades, y a sus ciudadanos como fuente de innovación, ¿cómo proceder hacia una urbe más inteligente?

Un comienzo ideal sería aprovechar los dispositivos electrónicos que casi todos portamos a diario y emplearlos como sensores urbanos, en lugar de depender en exclusiva de una infraestructura externa. La función de tráfico de Google Maps proporciona un buen ejemplo. En lugar de construir en las carreteras una costosa red de sensores es-

Sensores urbanos: Controlado por un teléfono inteligente, la «rueda de Copenhague» (*disco rojo*) ayuda a pedalear, pero también envía datos de temperatura, humedad, ruido y contaminación a una base de datos ambientales en tiempo real. A la izquierda, niveles de óxido de nitrógeno en Copenhague.

CORTESÍA DEL INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE MASSACHUSETTS, SENSEABLE CITY LAB/MAX TOMASINELLI (*bicicleta*), CHRISTINE OUTRAM Y XIAOJI CHEN (*captura de pantalla*)

pecializados, Google se sirve de un gran número de voluntarios anónimos cuyos teléfonos móviles informan minuto a minuto de su posición, lo que refleja el estado del tráfico. Los conductores pueden acceder a esa información de varias maneras, ya sea mediante indicadores de la velocidad del tráfico en las distintas rutas, estimaciones de la duración del trayecto deseado o sugerencias sobre rutas alternativas. Estos datos informan en tiempo real sobre el estado de las carreteras; además, ayudan a los usuarios a ser conscientes de que el coste para desplazarse de un punto a otro varía de manera constante. Desde luego, Google no es una plataforma ciudadana, pero el ejemplo ilustra hasta qué punto compartir datos entre individuos puede ayudar a gestionar la urbe. Y también pone de manifiesto que una ciudad puede ser social al tiempo que más eficiente sin necesidad de obedecer órdenes: el mejor camino se elige gracias a las observaciones de los demás conductores, no a partir de las directrices de los técnicos de tráfico.

La aplicación de Google emplea dispositivos electrónicos al uso. Pero la misma manera de proceder puede utilizar sensores específicos que midan y registren datos relativos a actividades, movimientos, entornos o la salud de las personas. Hace tan solo dos años, París contaba con menos de doce estaciones para medir los niveles de ozono. Con el objetivo de tomar más datos, el proyecto Green Watch, supervisado por Fing (un grupo de reflexión sobre los usos de la Red), distribuyó entre los parisinos 200 medidores de niveles de ozono y contaminación acústica. Los datos se hicieron públicos a través de Citypulse, una aplicación cartográfica. Durante la primera prueba se tomaron más de 130.000 mediciones en un solo distrito. Ello demostró la capacidad para desplegar una red de sensores casi al instante y a un coste muchísimo más bajo que el de extender la red de estaciones fijas. El proyecto sirve también como muestra de que la ciudadanía puede desempeñar un papel activo en la vigilancia y regulación ambiental. Con el tiempo, veremos sensores integrados en todo tipo de objetos de uso cotidiano, como teléfonos, vehículos y prendas de vestir.

La organización espontánea entre ciudadanos refuerza asimismo sus interacciones sociales e influye en sus actividades. Como demuestra el auge de las redes de comercio local como Groupon o LivingSocial, la conexión entre clientes y establecimientos constituye un poderoso catalizador de la actividad. Se crean también puntos de contacto social más estables. Un buen ejemplo lo proporciona la aplicación Foursquare, que convierte la ciudad en una especie de juego para teléfonos móviles: el visitante más asiduo a un bar, café o restaurante es designado como «alcalde», un guiño a los «cargos públicos autonombrados» que describía en 1961 la urbanista Jane Jacobs en su obra *Muerte y vida de las grandes ciudades*. Igual que las habladurías de barrio, tan determinantes según Jacobs para preservar la cohesión vecinal y la seguridad en las calles, los «alcaldes» de Foursquare nos recuerdan que incluso las urbes digitales más inteligentes deben su vitalidad a las personas interesantes y accesibles que las habitan.

Otro modo de transferir una mayor capacidad de acción a la ciudadanía consiste en empotrar sensores y mecanismos en edificios, plazas o incluso estatuas, de manera que el mobiliario urbano responda a la circulación de transeúntes. El Pabellón Digital del Agua de Zaragoza, por ejemplo, es un monumento público cuyas paredes constan de chorros de agua que se abren y se cierran al paso de los viandantes.

Los entornos programables irán más allá del ámbito físico. Hoy, numerosas ciudades ya ofrecen servicios telefónicos centralizados para informar sobre prestaciones municipales, así como la posibilidad de emitir partes sobre asuntos cotidianos. Tales sistemas evolucionarán hasta convertirse en depósitos de información cooperativos (*wikis*). Por ejemplo, un residente de Boston, usuario de la aplicación Citizen's Connect, atendió en menos de media hora una petición de ayuda para sacar una comadreja extraviada de un contenedor de basura, bastante antes de que la unidad municipal de control de animales se movilizara en respuesta. Tras expulsar al animalillo, el ciudadano avisó al 311 (la centralita municipal de atención ciudadana) de que ya había resuelto el problema. A medida que los ciudadanos puedan añadir y editar más y más información en los sistemas públicos, surgirán nuevas ideas para prestar y financiar servicios que no sean de emergencia, como los asistenciales o educacionales. La ciudadanía de-



Pasar sin mojarse: **Un ejemplo de arquitectura que se adapta a la circulación de transeúntes lo proporciona el Pabellón Digital del Agua de Zaragoza. Los chorros de agua que componen sus paredes se detienen al paso del viandante.**

CORTESÍA DEL PABELLÓN DIGITAL DEL AGUA/RAMAK FAZEL

berá cerciorarse, sin embargo, de que los organismos públicos no se escudan en esta clase de «subcontratas voluntarias» para incurrir en una dejación de sus obligaciones.

La llegada de interfaces informáticas más naturales permitirá que aquellos menos familiarizados con la técnica, los discapacitados o analfabetos participen más en la vida de las ciudades, lo que a su vez contribuirá a enriquecerla. A pesar de que las interfaces de reconocimiento de rostros existen desde hace muy poco, el Instituto de Tecnologías Creativas de la Universidad de California del Sur ya ha desarrollado un controlador gestual para Gmail que, en combinación con técnicas de síntesis y reconocimiento del habla, permitiría utilizar el correo electrónico y explorar la Red a ancianos, minusválidos y analfabetos. En cuanto dichas técnicas se extiendan a los cibercafés de barrios oprimidos, como ya ha ocurrido con los más de 600 Pontos de Cultura de las favelas brasileñas, asistiremos a la aparición de un movimiento urbano en pro de servicios inteligentes más completos.

Parte de la inteligencia de una ciudad procede del equilibrio entre poderes. Las ciudades interconectadas están cambiando los mecanismos de control sobre las instituciones: los centros de noticias «hiperlocales», como EveryBlock, que combinan datos oficiales con información en línea sobre calles y asuntos de barrio, ejercen una mayor vigilancia sobre los organismos oficiales que la prensa tradicional o la televisión. En páginas web como Oakland Crimespotting, de California, los residentes analizan y crean mapas interactivos con datos sobre crímenes a partir de aplicaciones en línea a tiempo real y bases de datos oficiales. Desde hace tiempo, existen sistemas de información similares a CompStat, de Nueva York, los cuales permiten a la Policía crear mapas detallados de la actividad delictiva. El fácil acceso a estos datos facultará a los ciudadanos para analizar las políticas de vigilancia y seguridad pública y, tal vez, podría conducir a nuevas formas de ordenamiento comunitario.

UN PLANETA DE LABORATORIOS

El peligro de ciudades modelo como Masdar reside en su elitismo y en una obsesión por la eficiencia; su ventaja, por otro lado, consiste en contar con un fin muy claro. Construir una ciudad inteligente desde la base supone un proceso continuo; de hecho, esa flexibilidad orgánica constituye también su principal defecto. Como laboratorios de innovación urbana, sin embargo, esos lugares en apariencia caóticos están pasando a formar parte de un movimiento global. Para progresar con rapidez, se necesitan mecanismos que exploren, evalúen e intercambien ideas fecundas; por ejemplo, sobre los métodos más adecuados para el acceso multitudinario a los servicios públicos o la mejor manera de emplear a los ciudadanos como sensores urbanos. Eso es lo que ha ocurrido en el pasado al difundir ideas para aumentar la velocidad de los autobuses o para compartir bicicletas.

Es aquí donde políticos, arquitectos, urbanistas y demás técnicos hallarían la mejor manera de contribuir a la creación de ciudades verdaderamente inteligentes: poniendo los recursos tradicionales de la planificación centralizada al servicio de la innovación que emana de la organización espontánea entre ciudadanos. Los ayuntamientos de ciudades como Nueva York, Londres, Singapur y París ya están adoptando medidas para convertir en públicas sus grandes bases de datos, lo que supone un estímulo para que surjan nuevas aplicaciones informáticas que aborden las necesidades ciudadanas. No queda claro, sin embargo, cómo mantener activo dicho proceso. La colaboración espontánea aporta compromiso y creatividad por parte de la gente, pero hacen falta empresas y organismos públicos para ampliar el fenómeno y vertebrar los grandes sistemas que permiten la ejecución de dichas innovaciones. Al fin y al cabo, las revueltas en Túnez y El Cairo se apoyaron en la infraestructura de telefonía móvil de Vodafone y otras multinacionales.

Corresponde a las autoridades escuchar a los ciudadanos y ayudarles a formar su propia versión de ciudad inteligente. Las circunstancias de cada comunidad son tan únicas como los recursos para afrontarlas. Ciertas experiencias locales se convertirán en «procesos recomendados»: conjuntos de datos, modelos informáticos y presentaciones visuales adaptables a otros lugares y situaciones. Pero gran parte de las soluciones más inteligentes serán como las mejores experiencias urbanas: únicas, locales e irrepetibles.

CIUDADES INTELIGENTES PARA SIEMPRE

¿Constituye Masdar el modelo de la ciudad del futuro o sufrirá el mismo destino que la megalópolis concebida en 1927 por Fritz Lang en *Metrópolis* (un diseño inspirador para muchos, pero que no se materializará jamás)? Masdar posee, quizás, algo de ambos modelos. Por un lado, sirve como prototipo de urbe donde la omnipresencia de la informática permite optimizar los servicios, desde el transporte hasta la energía. Con todo, transcurridos cinco años y gastados más de 1000 millones de dólares, Masdar todavía adolece de los inconvenientes del enfoque centralizado. Al final, una extensa replanificación la convertirá en un proyecto inmobiliario más tradicional. Se necesita algo más que dispositivos «inteligentes» para poder aplicar el mismo calificativo a la ciudad.

Considerar el desarrollo urbano bajo el prisma de la autoorganización espontánea entre ciudadanos nos permitirá imaginar el aspecto futuro de nuestras ciudades y nos ayudará a diseñarlas, construirlas y habitarlas. Al dotar a la población de los medios necesarios para planear sus quehaceres cotidianos de la mejor manera posible, toda la comunidad —el verdadero ámbito urbano— se transformará también en una entidad inteligente.

PARA SABER MÁS

Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. Luis M. A. Bettencourt et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 1204, n.º 17, págs. 7301-7306, 24 de abril de 2007.

Planet of civic laboratories: The future of cities, information, and inclusion. Anthony Townsend et al. Instituto para el Futuro, 2010. **www.iftf.org/inclusion**

Building a smarter favela: IBM signs up Rio. Greg Lindsay en *Fast Company*, 27 de diciembre de 2010. **www.fastcompany.com**

Laboratorio Senseable City, Instituto de Tecnología de Massachusetts: **senseable.mit.edu**



Edward Glaeser es titular de la cátedra de economía Fred y Eleanor Glimp en Harvard y director del Centro Taubman para la gobernación local y estatal.

Motores de innovación

La mayoría de la humanidad ya vive en entornos urbanos. Este simple hecho alienta nuestro éxito como especie

Edward Glaeser

DELINCUENCIA, AGLOMERACIONES Y CONTAMINACIÓN constituyen lacras de todas las ciudades, desde Los Ángeles hasta Bombay. Sin embargo, son numerosos los factores que compensan los inconvenientes de la vida urbana: las ciudades brindan oportunidades de prosperidad económica y propician esa clase de inspiración y creatividad que solo nace del contacto personal. La proximidad física alienta el tipo de creatividad cooperativa que ha dado fruto a algunas de las mejores ideas de la humanidad, como la Revolución Industrial o la era de la información. Cabe esperar que, en el futuro, la vida urbana contribuya a resolver los problemas más acuciantes de nuestro mundo, como la pobreza, la escasez energética o el cambio climático, y promueva transiciones políticas de gran importancia, como la que hemos visto este año en El Cairo.

CONTINÚA EN LA PÁGINA 30



La torre Jin Mao («prosperidad áurea») preside sobre los 23 millones de residentes de Shanghái.

JOSEF HOFLEHNER, GALLERY STOCK



EN SÍNTESIS

Las ciudades ofrecen oportunidades únicas para el contacto personal, el intercambio de ideas y el de bienes.

Grandes logros de la humanidad, en ámbitos como el científico o el político, han surgido gracias a las condiciones que crea el entorno urbano.

El trasiego de ideas que hoy viven las grandes metrópolis de los países en vías de desarrollo puede forjar vías para salir de la pobreza.



Grandes urbes: conseguir más con menos

A medida que crecen, las ciudades aumentan su productividad y eficiencia

Luís M. A. Bettencourt y Geoffrey B. West

Durante siglos, las ciudades han sido descritas como aglomeraciones antinaturales y castigadas por las epidemias, la violencia y el elevado coste de la vida. ¿A qué se debe entonces la migración en todo el mundo del campo a la ciudad? Investigaciones recientes, que están dando forma a una ciencia multidisciplinar sobre los entornos urbanos, empiezan a ofrecer la respuesta: en las ciudades se concentra, acelera y diversifica la actividad social y económica.

Los datos muestran que las ciudades producen una cantidad mayor de inventos y de oportunidades de desarrollo económico. A menudo, los lugares más «verdes» del planeta son grandes urbes, ya que los habitantes de núcleos más densos dejan por lo general una huella energética menor, necesitan en promedio menos infraestructuras y su consumo no llega a la media mundial de recursos per cápita. En comparación con las áreas rurales o con las zonas residenciales suburbanas, las grandes urbes hacen más con menos. Y su productividad y eficiencia aumentan con su tamaño.

EL PODER DE LA POBLACIÓN

Los estudios cuantitativos sobre las ciudades se han hecho posibles gracias a la gran cantidad de información accesible hoy en día. Esta no procede solo de las estadísticas oficiales, sino también de nuevas formas de medir la actividad económica y social.

El aluvión de datos correspondientes a miles de urbes de todo el mundo ha revelado algunas «leyes» matemáticas que describen cómo afectan las grandes concentraciones de población a la actividad económica, a los retornos de inversión en infraestructuras y a la vitalidad social. No obstante la rica diversidad de las áreas metropolitanas de EE.UU., China y Brasil, entre otros, hemos observado una uniformidad notable en el incremento de las características socioeconómicas de las ciudades conforme aumenta el número de habitantes. Si la población de una ciudad se duplica —ya pase de 40.000 a 80.000 habitantes, o de 4 a 8 millones—, se observa una elevación del 15 por ciento en parámetros como el salario medio o el número de patentes per cápita. Si una gran ciudad cuenta con 8 millones de almas, su producto económico será alrededor de un 15 por ciento mayor que si esos mismos 8 millones se repartiesen entre dos ciudades de 4 millones. Hemos llamado a este efecto «crecimiento superlineal»: las propiedades socioeconómicas de las ciudades aumentan con el número de habitantes más de lo que se esperaría a partir de una ley de proporcionalidad directa («lineal»).

Los datos indican, asimismo, que el consumo de recursos de las ciudades sigue una ley similar, aunque inversa. Doblar el tamaño de la urbe no implica multiplicar por dos su infraestructura material, trátese del número de estaciones de servicio o de la longitud total de sus tuberías, carreteras o tendido eléctrico. Estas magnitudes crecen a menor velocidad que el número de habitantes: para una infraestructura dada, una ciudad de 8 millones requiere, por lo general, un 15 por ciento menos que dos ciudades de 4 millones cada una; en este caso, la relación es «sublineal». En promedio, cuanto mayor es la ciudad, más eficiente resulta el uso de su infraestructura, lo que supone un ahorro importante de materiales, energía y emisiones.

Nuestros hallazgos muestran, asimismo, que dichas pautas de mayor productividad y costes decrecientes se aplican a países de muy diverso grado de desarrollo, tecnología y riqueza. Aunque por el momento contamos con mucha más información sobre las ciudades de los países más ricos del mundo, los datos relativos a los países en vías de desarrollo parecen encajar en el mismo molde. El producto interior bruto de las ciudades de Brasil o China sigue de cerca la misma curva superlineal que se observa en Europa occidental y en Norteamérica. Estamos convencidos de que la regla se cumple porque los procesos sociales y económicos subyacentes son siempre los mismos, ya hablemos de las favelas de São Paulo, de la contaminada Pekín o de la pulcra Copenhague.

Aunque el crecimiento superlineal se observa en todo el planeta, se trata por supuesto de un comportamiento medio; tomadas una a una, cada ciudad se desvía en mayor o menor medida de ese aumento del 15 por ciento asociado al tamaño. Datos detallados de los últimos 40 años muestran que San Francisco y Boston son más ricas de lo que su tamaño indicaría, mientras que Phoenix o Riverside, en California, lo son algo menos. Estas desviaciones persisten durante decenios: las ciudades tienden a conservar sus trayectorias de sobre- o infrarrendimiento. En ciudades que han tratado de mejorar su suerte creando las condiciones para convertirse en «el próximo Silicon Valley», los resultados han sido a menudo decepcionantes. Nuestras investigaciones sugieren que los factores críticos para la generación de ciclos de innovación y riqueza residen, más que en el desarrollo de infraestructuras materiales, en ciertas cualidades intangibles de dinámica social. Dichos procesos, como el auge de la iniciativa empresarial, el prestigio por erigirse en vanguardia de la innovación, o una cultura de excelencia y competitividad resultan difíciles de implantar por medios políticos, puesto que dependen de una dinámica social que abarca numerosas facetas. Confiamos en que los resultados de este apasionante campo de investigación permitan obtener «recetas» más eficaces para lograr un desarrollo socioeconómico sostenible.

Lo que sí cabe afirmar con certeza es que los aumentos de población promueven interacciones sociales más frecuentes e intensas, las cuales se correlacionan con tasas más elevadas de innovación y productividad, y suscitan presiones económicas que escardan las ineficiencias. En una ciudad con rentas elevadas, solo contarán con posibilidades de éxito las actividades que aporten un valor considerable. Esta presión económica fuerza a la población a buscar nuevas formas de organización, así como productos y servicios más rentables. Al aumentar los beneficios económicos, la oferta y la excelencia de los productos, más individuos de talento se sienten atraídos por la ciudad, lo que eleva aún más las rentas y alimenta la necesidad de actividades más productivas. Este mecanismo de retroalimentación constituye, en síntesis, la causa principal de que las ciudades aceleren la innovación a la vez que intensifican y diversifican la actividad social y económica.

MÁS DENSAS, PERO MÁS SOSTENIBLES

Aunque las ciudades crean oportunidades económicas tanto en los países ricos como en los pobres, a quienes residen en las zonas

opulentas les resulta difícil entender por qué tantos habitantes de países pobres se ven atraídos hacia lugares como Nairobi, Lagos o Bombay, donde los inmigrantes suelen acabar en vastos arrabales marcados con todos los estigmas de la miseria, la contaminación y la enfermedad. Estas terribles condiciones deberían recordarles a los moradores de los países desarrollados su propio pasado urbano. Cuando Charles Dickens escribía sobre el Londres de mediados del siglo XIX, o cuando Jacob Riis fotografiaba el Bowery neoyorkino, a finales del mismo siglo, ambos retrataban circunstancias similares. Ambas ciudades crecieron de manera explosiva durante el siglo XIX: la población de Londres se multiplicó casi por siete; la de Nueva York, por sesenta. Las ciudades modernas y bien gestionadas han demostrado que las epidemias no son inevitables. Los problemas surgen, casi siempre, como consecuencia de una mala o nula planificación y de un mal gobierno. El desarrollo de esas características organizativas puede, de hecho, constituir el efecto más positivo y duradero de la urbanización, pues abre la senda para el desarrollo socioeconómico a escala nacional.

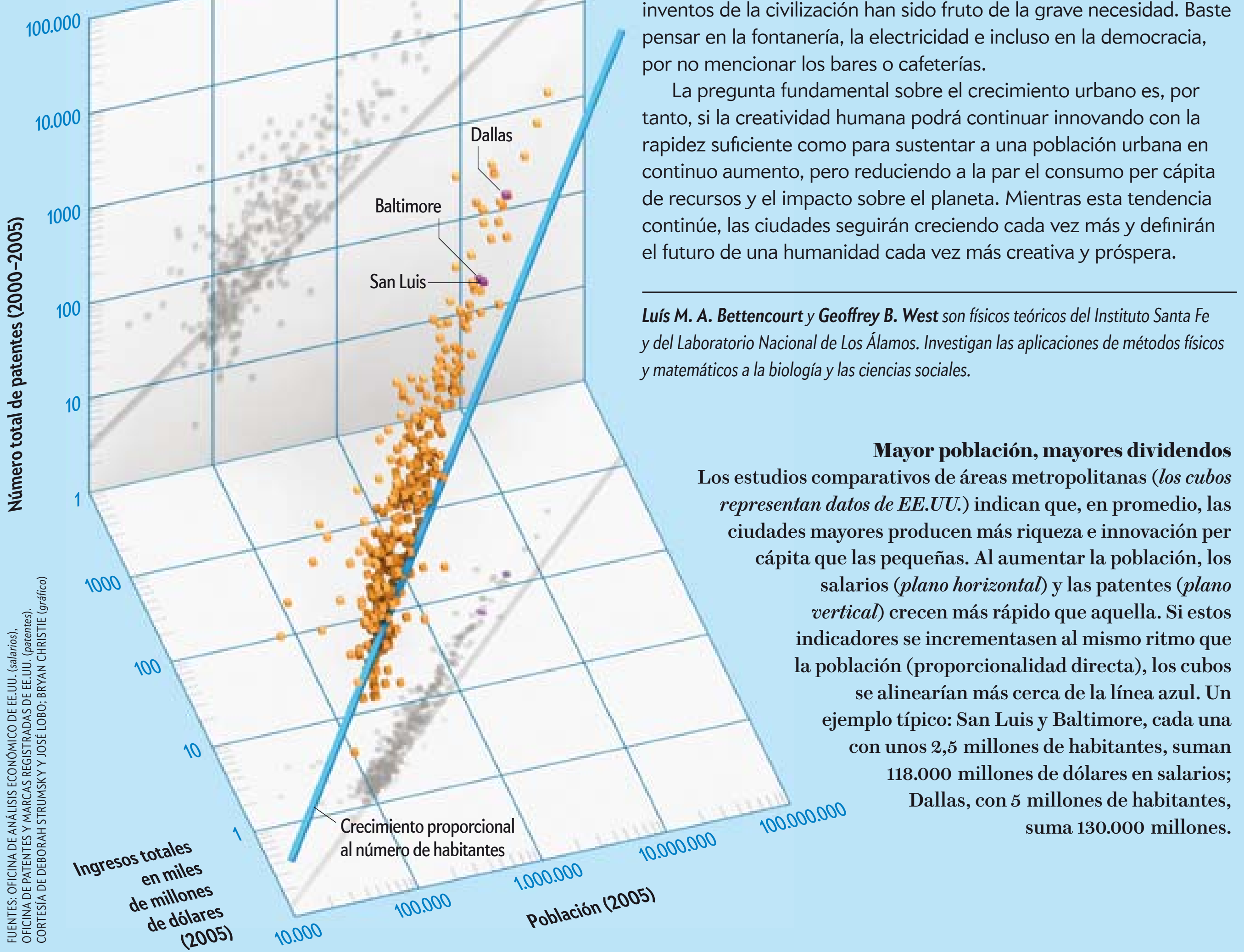
Ciertos beneficios —riqueza e innovación aparte— aparecen incluso sin legislación. Un ejemplo notable lo proporciona el impacto de las ciudades sobre el entorno. Aunque solo ahora empezamos a disponer de datos de calidad, ya podemos afirmar que las mayores ciudades de EE.UU. presentan las menores cifras de emisiones de carbono per cápita. En gran parte, el fenómeno supone una consecuencia no prevista de la densidad de población, pues el grueso de tales reducciones se debe a los desplazamientos a pie o en transporte público, en lugar de en automóvil, cuyo consumo es casi diez veces mayor.

La eficiencia ambiental resulta problemática en países emergentes como la India o China, donde aún queda mucha infraestructura por construir. No contamos todavía con ideas claras sobre la forma de conjugar las urgencias de un desarrollo rápido y la necesidad de un crecimiento limpio. Con todo, puede que la urbanización siga siendo la solución más sostenible a los problemas ambientales.

No obstante, el crecimiento desenfrenado puede provocar crisis que, llevadas al extremo, conduzcan al colapso de una ciudad a menos que aparezcan grandes ideas para estimular nuevos ciclos de crecimiento. En este sentido, las ciudades nunca se encuentran en equilibrio estable: su existencia resulta de un tira y afloja entre las fuerzas que la mantienen unida y las que tienden a desgarrarla. Esa tensión constituye otro motor de innovación: muchos de los grandes inventos de la civilización han sido fruto de la grave necesidad. Baste pensar en la fontanería, la electricidad e incluso en la democracia, por no mencionar los bares o cafeterías.

La pregunta fundamental sobre el crecimiento urbano es, por tanto, si la creatividad humana podrá continuar innovando con la rapidez suficiente como para sustentar a una población urbana en continuo aumento, pero reduciendo a la par el consumo per cápita de recursos y el impacto sobre el planeta. Mientras esta tendencia continúe, las ciudades seguirán creciendo cada vez más y definirán el futuro de una humanidad cada vez más creativa y próspera.

Luís M. A. Bettencourt y Geoffrey B. West son físicos teóricos del Instituto Santa Fe y del Laboratorio Nacional de Los Álamos. Investigan las aplicaciones de métodos físicos y matemáticos a la biología y las ciencias sociales.



Mayor población, mayores dividendos

Los estudios comparativos de áreas metropolitanas (*los cubos representan datos de EE.UU.*) indican que, en promedio, las ciudades mayores producen más riqueza e innovación per cápita que las pequeñas. Al aumentar la población, los salarios (*plano horizontal*) y las patentes (*plano vertical*) crecen más rápido que aquella. Si estos indicadores se incrementasen al mismo ritmo que la población (proporcionalidad directa), los cubos se alinearían más cerca de la línea azul. Un ejemplo típico: San Luis y Baltimore, cada una con unos 2,5 millones de habitantes, suman 118.000 millones de dólares en salarios; Dallas, con 5 millones de habitantes, suma 130.000 millones.

VIENE DE LA PÁGINA 26

¿Por qué fomentan las ciudades nuestras mejores cualidades? La técnica permite conferencias virtuales, e Internet nos mantiene en contacto las veinticuatro horas del día. Pero nada de lo anterior puede suplir esas expresiones sociales de simpatía o desacuerdo tan espontáneas en la oficina, el bar o el gimnasio. Las ciudades propician el intercambio aleatorio de las ideas necesarias para abordar los problemas más pertinaces. Los empleados jóvenes, hállense en Wall Street o en las oficinas de Google en Nueva York, progresan poco a poco al observar los éxitos y fracasos de quienes los rodean. Siempre ha sido así.

Pensemos en todo el talento que bullía en las ciudades de Inglaterra del siglo XVIII y que condujo a la Revolución Industrial. Las claves técnicas para hilar con rodillos partieron de Lewis Paul y John Wyatt en Birmingham, les fueron transmitidas a John Kay y Thomas Highs, y acabaron en manos de Richard Arkwright gracias a una discusión ante unas copas en las afueras de Manchester. Las ciudades, al alimentar de tal modo el flujo de ideas, promueven la prosperidad, la innovación, la salud e incluso nuevas formas de gobierno.

DHAKA, en Bangladesh, es el área urbana con mayor densidad de población del mundo: 35.000 personas por kilómetro cuadrado.
FUENTE: Demographia

AUTOPISTAS DE IDEAS

Ese incesante trasiego de ideas ha ayudado a las ciudades del mundo en vías de desarrollo a salir de la pobreza y avanzar hacia la prosperidad. Los ingresos medios por habitante son cinco veces más altos en los países mayoritariamente urbanos que en los rurales. En varios distritos de la India, la renta media por habitante aumenta un 20 por ciento al duplicarse la densidad de población, bajo iguales condiciones de edad y formación del individuo.

En su papel de nodos comerciales, las ciudades propician también la integración en la economía mundial. Las gentes de los países en desarrollo pueden prosperar si saben cómo vender su tiempo —convertido en bienes y servicios— en mercados más prósperos. En esencia, las ciudades conectan países pobres con mercados ricos.

HANOI Ciudad vietnamita cuyo PIB se prevé que experimente el mayor crecimiento entre 2011 y 2025.
FUENTE: Pricewaterhouse Coopers

Consideremos un ejemplo revelador. N. R. Narayana Murthy, uno de los multimillonarios fundadores del gigante informático indio Infosys, se graduó en los años sesenta en la Universidad de Mysore y en el Instituto Indio de Tecnología Kanpur. En aquellos tiempos, un título indio de ingeniería no garantizaba ingresos elevados. Murthy empezó trabajando en Sistemas Informáticos Patni (hoy iGATE Patni), cuyos fundadores habían residido en EE.UU. y sabían cómo satisfacer la gula estadounidense por las aplicaciones informáticas. De regreso a la India, fundaron junto a Murthy una pequeña empresa en la ciudad de Pune para dar servicio a compañías norteamericanas, con lo que vincularon el talento indio a los mercados americanos. En 1981 pusieron en marcha su propia compañía de *software* y, en 1982, captaron su primer cliente estadounidense. Un año después se mudaron a Bangalore para trabajar con un fabricante alemán de bujías para motores que deseaba tener cerca a Infosys. Casi 30 años después, Infosys se ha convertido en un fenómeno mundial que ha proporcionado miles de millones de dólares a sus fundadores y ha formado a miles de indios en Bangalore, ayudándolos a prosperar exportando su talento. Ese éxito se ha propagado por todo Bangalore, pues ha llegado a los restaurantes y taxis de la ciudad, lo que se traduce en puestos de trabajo para miles de compatriotas.

En la ciudad china de Shenzhen, cerca de Hong Kong, encontramos otro ejemplo similar. En 1980, cuando los controles en el país eran más rígidos que hoy, Shenzhen apenas contaba con industria. Fue convertida entonces en una zona económica especial, pensada para atraer la inversión extranjera en la industria manufacturera gracias a reducciones de impuestos y exenciones en las regulaciones comerciales. Las empresas llegaron atraídas por la mano de obra barata; los trabajadores acudieron por las oportunidades económicas que ofrecía el empleo fabril frente a la vida rural. La primera compañía estadounidense que se trasladó a Shenzhen fue Pepsi, en 1982, para embotellar allí la soda que comercializaba en Hong Kong, a una pequeña fracción de los salarios hongkoneses. Tras Pepsi llegaron multinacionales de juguetes, calzado, bolsos y, con el tiempo, productos más elaborados. Este núcleo industrial cuenta hoy con nueve millones de habitantes. El Instituto Global McKinsey (la sección de economía e investigación de McKinsey & Company) pronostica que hacia 2025 se habrá convertido en la décima economía urbana del mundo.

IDEAS SALUDABLES

Las ciudades, además de favorecer la productividad económica, pueden también resultar saludables. En nuestros días, la esperanza de vida en Nueva York supera en más de un año a la media estadounidense. Nadie sabe a ciencia cierta por qué los ancianos neoyorquinos gozan de mejor salud. Según unos, porque caminan más; otros lo atribuyen a los vínculos sociales, posibles gracias a la concentración humana. Pero en el caso de los jóvenes no hay misterio. Las principales causas de muerte entre menores de 35 años se encuentran en los accidentes de tráfico y los suicidios; ambos, mucho menos frecuentes en las ciudades. En Nueva York, la mortalidad por accidentes de tráfico es un 70 por ciento menor que en el conjunto de EE.UU.: regresar en metro después de unas copas resulta mucho menos peligroso que conducir ebrio.

En su calidad de fuentes de conocimiento, las ciudades contribuyen a mejorar la salud de la humanidad. John Snow, uno de los padres de la epidemiología, logró un enorme avance gracias al Londres decimonónico, pues fue la propia ciudad la que le facilitó las claves para entender el cólera. Al estudiar dónde aparecieron los brotes de la enfer-

En todo el mundo, los centros urbanos atraen a trabajadores de élite. La colaboración creativa ha engendrado algunas de las mejores ideas de la humanidad.



JOSEF HOFLEHNER, GALLERY STOCK

medad, pudo relacionar su origen con una bomba de agua y deducir así la relación entre el agua contaminada y la epidemia. Hace no tanto, el estudio de la distribución de infecciones de sida entre la población parisina condujo a los primeros avances significativos en la investigación sobre el síndrome. El conocimiento que emana de las ciudades supone, a menudo, la mejor defensa contra la enfermedad.

Si las urbes de los países en vías de desarrollo no son aún saludables, se debe en parte a que sus Gobiernos no las han dotado de las infraestructuras necesarias. Sin embargo, a menudo son las ciudades las que remedian esa clase de situaciones: las revueltas contra malos gobernantes y dictadores suelen originarse en las urbes; la proximidad entre residentes facilita la coordinación necesaria para los movimientos de reforma. Aunque no todas las revueltas ciudadanas han desembocado en democracias estables, la mayoría de las democracias se han beneficiado antes o después de un alzamiento urbano. La primera república europea moderna, en los Países Bajos, arraigó tras siglos de revueltas populares en las ciudades laneras de Flandes. Hoy se alza en la plaza del Mercado de Brujas la estatua de un tejedor y un carnicero a quienes se atribuye la organización del gremio para luchar contra la dominación de la monarquía francesa. El 18 de mayo de 1302, en el episodio conocido como los Maitines de Brujas, la insurrección masacró a las tropas de la ocupación francesa; dos meses después, los artesanos de Brujas y sus aliados acabaron con la flor de la caballería francesa durante la batalla de las Espuelas Doradas.

Aquellas victorias no desembocarían en una república hasta siglos después, cuando el fuego de la Reforma, extendido por las ciudades del norte de Europa, sumó una razón religiosa a las ya existentes para la rebelión. Los Países Bajos habían pasado a manos de los Austrias en 1556, quienes trataron de imponer sus gravámenes y sus normas a la población. Las ciudades lograron una vez más coordinarse, primero en un desenfreno iconoclasta y, más tarde, en una verdadera rebelión. El éxito requirió decenios, pero el resultado final fue una república urbana que se convertiría en el centro de un imperio mundial de comercio y conquista, modelo para numerosas repúblicas posteriores.

En los EE.UU., las revueltas comenzaron en el siglo XVIII en las calles de Boston, que pusieron en contacto a Samuel Adams y John Hancock, futuros revolucionarios. A Hancock, por intereses comerciales, le convenía la agitación contra el mercantilismo británico; Adams sabía cómo arengar a la multitud. Ellos y sus aliados bostonianos (John Adams, Paul Revere y otros) se convirtieron en el núcleo de la lucha por la soberanía popular.

LA REVOLUCIÓN DE FACEBOOK

La capacidad de las ciudades para difundir ideas de libertad y coordinar acciones de masas ha conducido a un sinnúmero de revueltas, ya fuese en París en 1789, en San Petersburgo en 1917 o en El Cairo en 2011. Aunque el derrocamiento del presidente egipcio ha sido denominado la «Revolución de Facebook», Hosni Mubarak no habría abandonado el poder si la población se hubiese limitado a bloquear su cuenta de Facebook. Fue necesario tomar la plaza Tahrir.

La humanidad sigue enfrentada a enormes problemas, desde la pobreza endémica al calentamiento del planeta, pero el historial de hazañas urbanas de nuestra especie me infunde optimismo. Poseo una enorme confianza en la capacidad de *Homo sapiens* para obrar milagros cuando sus miembros cooperan. El mayor de nuestros dones reside en la capacidad para aprender unos de otros, colaborar y resolver problemas aprovechando nuestra inteligencia colectiva.

Los medios electrónicos modernos facilitan la cooperación, pero lo mismo se logra con el contacto personal, posible gracias a la proximidad física que propician las ciudades. Las urbes han venido resolviendo los principales problemas de nuestra especie durante milenios y seguirán haciéndolo en los siglos venideros.

PARA SABER MÁS

The rise of the skilled city. Edward L. Glaeser y Albert Saiz en *Federal Reserve Bank of Philadelphia Working Papers*, 2003. **ideas.repec.org/p/fip/fedpwp/04-2.html**

Triumph of the city: How our greatest invention makes us richer, smarter, greener, healthier and happier. Edward Glaeser. Penguin Press, 2011.

Una colección de artículos de Glaeser en su página de la Universidad de Harvard: **www.economics.harvard.edu/faculty/glaeser/papers_glaeser**

El bazar global

Los barrios de chabolas, favelas y *jhopadpattis* se han convertido en focos de una inventiva sorprendente

Robert Neuwirth


STUART FRANKLIN, MAGNUM PHOTOS

Las mujeres maniobraban sus canoas rudimentarias por callejones estrechos y llenos de agua salobre. Apenas hundían los remos; se deslizaban con lentitud ante las casas de chatarra, alzadas sobre pilares enclenques que mantenían la estructura justo a salvo de la marea. Aquí y allá se asomaba una cabeza por la ventana para comprobar qué o quién pasaba. En el pequeño puerto donde las mujeres amarraban sus barcas, la orilla seguía en construcción. Un grupo de gente rellenaba los bajíos con capas de desechos para reclamar terreno al agua turbia. Cerca de allí, bajo un pabellón con techo de paja construido sobre una de esas parcelas robadas al mar, una mujer encendió una cerilla y la acercó a una pila de serrín y virutas. Una columna de humo empezó a ascender con pereza hacia el cielo polvoriento.

Saludos desde Makoko, uno de los asentamientos de chabolas con peor reputación de una de las ciudades más tristemente famosas del mundo: Lagos, una metrópoli atrapada entre la modernidad y la miseria. Con cientos de cajeros automáticos, docenas de locutorios de Internet y millones de teléfonos móviles, esta ciudad afanosa, desquiciante y superpoblada (entre 8 y 17 millones de personas, según dónde se tracen los límites y quién lleve la cuenta) se halla conectada por completo a la red global. Lagos, un centro de comercio internacional con un enorme espíritu emprendedor, es la capital mercantil del país más poblado de África. Cada año atrae a unos 600.000 nuevos residentes. Sin embargo, la mayoría de los barrios, incluso algunos de los mejores, carecen de agua corriente, alcantarillado o electricidad. Makoko, en parte sobre tierra firme y en parte en equilibrio sobre la laguna local, constituye una de las zonas más deprimidas de esta megalópolis.

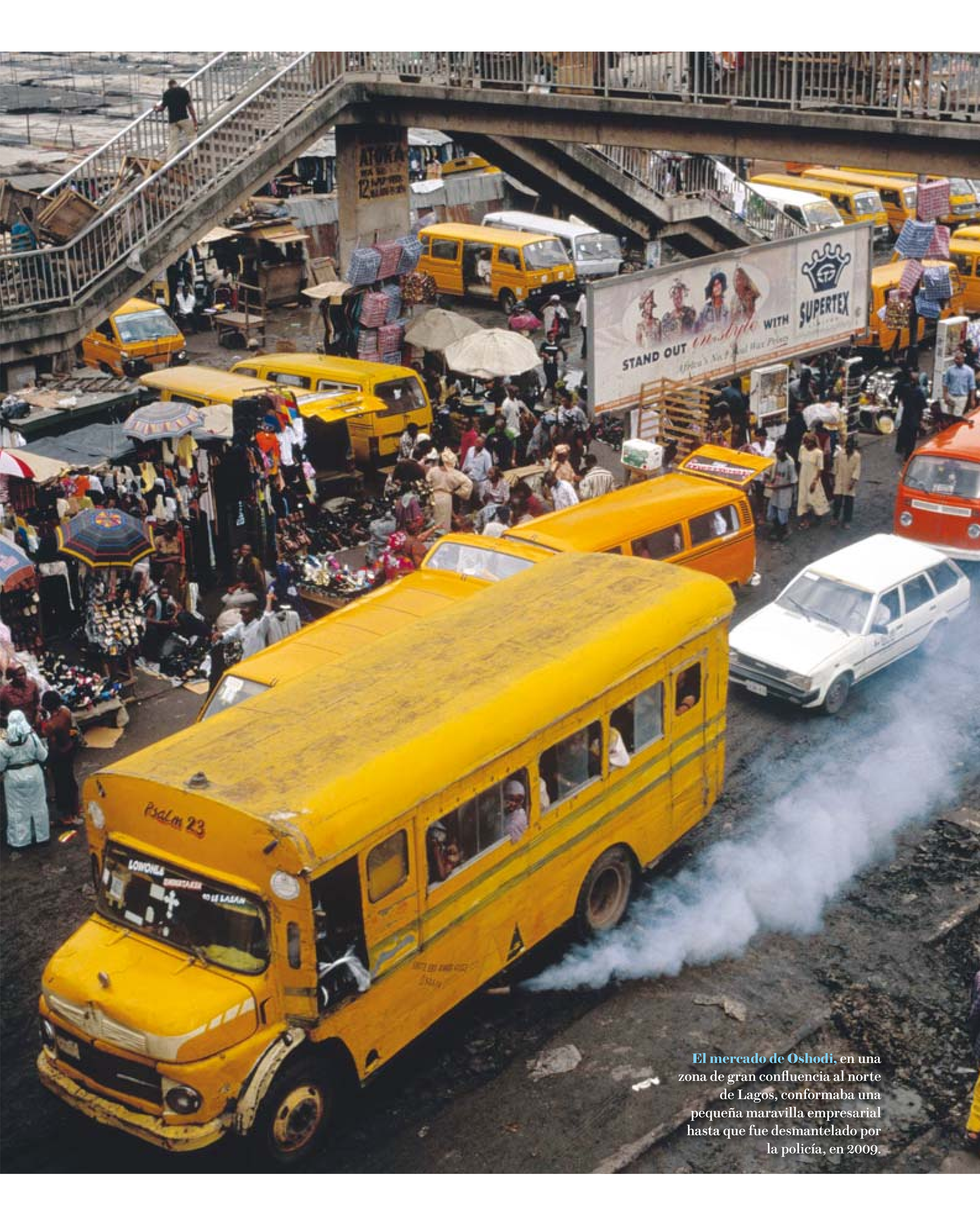
Los poblados chabolistas existen en todo el mundo. Las 600 favelas de Río de Janeiro, que dan cobijo al 20 por ciento de la población de la ciudad, descienden en picado hacia la bahía de Guanabara y suben por empinadas laderas desde las playas de Copacabana e Ipanema. En Bombay, los incontables *jhopadpattis* se extienden a lo largo del hediondo arroyo de Mahim, llenan las aceras de Reay Road y se apilan junto a las vías de tren. La mitad de los habitantes de la ciudad viven en chabolas construidas sobre terrenos que, legalmente, no les pertenecen. En Kenia, el barrio de Kibera —uno de los poblados de chozas de barro más grandes del África subsahariana, donde viven cerca de un millón de personas— se encuentra a un paso del centro de Nairobi, pero carece de electricidad, alcantarillas e infraestructuras sanitarias. Sus habitantes pagan hasta 20 veces más por el agua potable que los residentes de los barrios legales.


EN SÍNTESIS

Uno de cada siete habitantes del planeta vive en asentamientos chabolistas. Más de la mitad de los trabajadores del mundo dependen de la economía sumergida.

Estos mercados y barrios ofrecen el alojamiento y los empleos que los Gobiernos y el sector privado no son capaces de proporcionar.

Los Gobiernos deberían cooperar con estas comunidades, en lugar de abandonarlas o eliminarlas.



El mercado de Oshodi, en una zona de gran confluencia al norte de Lagos, conformaba una pequeña maravilla empresarial hasta que fue desmantelado por la policía, en 2009.



Robert Neuwirth es autor de *Stealth of nations: The global rise of the informal economy* («El sigilo de las naciones: El crecimiento mundial de la economía informal», Pantheon, 2011) y *Shadow cities: A billion squatters, a new urban world* («Ciudades en la sombra: Un nuevo mundo urbano de mil millones de chabolas», Routledge, 2006).

A pesar de que entre 800 y 900 millones de personas (uno de cada siete habitantes del planeta) viven en lugares como estos, los Gobiernos de todo el mundo siempre han tratado con desprecio a sus comunidades. Cuando no se han dedicado a derribarlas, las han ignorado. Consideremos un ejemplo: durante décadas, en el mapa oficial de Nairobi, aparecía Kibera —de cien años de antigüedad y donde vive hasta una quinta parte de la población de la ciudad— representado como un bosque en lugar de un barrio.

Sin servicios municipales y con Gobiernos que niegan su existencia, esos lugares se han convertido, por pura necesidad, en focos de gran inventiva que han visto nacer industria y proyectos empresariales autosuficientes. A pesar de las duras condiciones de vida y las privaciones, estas comunidades ilegales conforman el crisol de nuestro futuro global. Los Gobiernos deben aceptarlas, no desheredarlas.

MERCADOS FLOTANTES

Cuando el barrio se extiende sin control sobre el agua, como en Makoko, no resulta fácil abrir la puerta de casa y caminar hasta la tienda más cercana. En tal caso son los productos los que han de llegar al consumidor: las mujeres que se deslizan por la laguna de Lagos suponen el equivalente acuático de un mercado callejero. Algunas llevan alimentos básicos como *garri* (mandioca tostada y fermentada), *fufu* (otra fécula, casi siempre de ñame molido), pan y arroz. Otras venden refrescos y cervezas, o escobas y artículos para el hogar.

Sus canoas las han fabricado artesanos locales, que tallan a mano las planchas de madera para asegurarse de que aguantarán la corrosión del agua marina. También la fabricación de casas da lugar a una industria artesanal; son erigidas por especialistas que saben hasta dónde deben hundir los pilares y cuánto peso pueden aguantar. Ocupar la orilla supone asimismo una tarea organizada, como demuestran los jóvenes que llegan aquí varias veces al día en barcos llenos de légamo que esparcen sobre los residuos compactos.

El fuego —que, sin vigilancia, calcinaría el poblado— supone otro negocio. Ogun Dairo, una mujer que ahúma pescado en tres grandes parrillas, trabaja sin licencia en terrenos que hasta hace poco no existían. Ogun no pesca, sino que compra el pescado en un almacén frigorífico cercano a su casa. Tampoco vende el producto; se limita a doblar el pescado en forma de aro —para que no sea necesario darle la vuelta al ahumarlo—, lo deja unas horas sobre las brasas y después lo embala. En un día normal, Ogun llena entre cinco y siete cajas, las cuales van a parar a un distribuidor que, a su vez, las vende a otras mujeres (las vendedoras ambulantes de pescado ahumado son siempre mujeres) que las repartirán por toda la ciudad. «El margen de beneficio no supone gran cosa», explica Ogun con un vocabulario que entendería el dueño de un pequeño negocio en cualquier parte del mundo. «Las ganancias provienen del volumen de ventas.»

Le pregunté de dónde procedía el pescado. Pensé que respondería que la laguna, tan contaminada en aquella zona, se encontraba más limpia corriente arriba o mar adentro. O quizá que el pescado venía de otros países costeros de África, o incluso del interior. No estaba preparado para su respuesta: «De Europa». Se pesca en el mar del Norte, se congela y se envía a Lagos, donde se transporta desde el puerto hasta uno de los barrios más pestilentes de la ciudad. Allí se ahúma y se vende por los caminos de esta metrópoli con un beneficio de unos pocos *naira* (unos céntimos de euro).

Esos negocios no figuran en ningún registro, no poseen licencia y no aparecen en las estadísticas oficiales. Pero, aunque se esconden en las sombras políticas y económicas, se han convertido en norma en todo el mundo. Hoy en día, unos 1800 millones de personas, más de la mitad de los trabajadores del planeta, se ganan la vida de manera extraoficial. Y cada vez son más: según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, en el año 2020 la economía informal (la parte «no criminal» de la economía sumergida) representará dos tercios de la fuerza laboral mundial. Se estima que casi la mitad del crecimiento económico global durante los próximos 15 años provendrá de las 400 primeras ciudades de los países emergentes. El centro de gravedad urbano —y, por tanto, el global— se está desplazando hacia los países en vías de desarrollo. Sus enormes mercados callejeros autosuficientes y sus barrios hechos a sí mismos nos proporcionan una visión del futuro urbano.

INICIATIVA PROPIA

El fenómeno inquieta a Gobiernos y urbanistas, que temen que los barrios indómitos y sus negocios extraoficiales se extiendan como un cáncer y lleven caos, disturbios y criminalidad a ciudades enteras. Además, y como admiten los habitantes de dichas zonas, vivir en un estuario contaminado o carecer de agua corriente no se corresponde con el ideal de vida del siglo XXI. «No deseamos vivir aquí», me confesó Erastus Kioko mientras la oscuridad envolvía su vivienda en Kibera, de una sola estancia. «Si tuviéramos dinero, no nos quedaríamos.» Mirando fijamente las paredes deformes de su casa de barro, añadió: «No puedo decir que tenga un futuro».

Pero, a pesar de todas las dificultades, sus perspectivas se muestran mejores en Kibera que en otras zonas de Nairobi. En los barrios oficiales de la capital, el apartamento de una sola habitación más barato cuesta cuatro veces más que las chozas de barro típicas en Kibera. Ningún Gobierno ni promotor privado está dispuesto a construir viviendas que Kioko —ni ningún otro residente de Kibera o de cualquier poblado de chabolas del mundo— pueda permitirse. Los chabolistas deben por tanto erigir sus hogares por cuenta propia. Solo ellos poseen la voluntad y el ingenio necesarios para hacer que estas comunidades funcionen.

PUNTO DE INFLEXIÓN

Las regiones más rurales del planeta, Asia y África, experimentarán una transición hacia un régimen mayoritariamente urbano hacia 2023 y 2030, respectivamente.

FUENTE: ONU-HABITAT











RADHIKA CHALASANI, REDUX PICTURES (*mujer de amarillo*); JONAS BENDIKSEN, MAGNUM PHOTOS (*dormitorio, rezos y escuela*); ERIC BOUVET, VII NETWORK (*trabajadores*)

Dharavi, conocido gracias al filme *Slumdog Millionaire*, es uno de los poblados chabolistas más famosos de Bombay. Un millón de personas viven en un área de poco más de dos kilómetros cuadrados. Sus habitantes le ganaron el terreno a un manglar; viven del reciclaje y la manufactura ligera. Dos quintas partes de la población profesan la religión musulmana; el resto son hindúes. En algunas viviendas comunales duermen 35 personas en una misma habitación. La zona se encuentra en el punto de mira de algunos planes de reurbanización que han levantado polémica.

Las

5

ciudades más pobladas en...

1950

1. Nueva York
2. Tokio
3. Londres
4. París
5. Moscú

2010

1. Tokio
2. Delhi
3. São Paulo
4. Bombay
5. Ciudad de México

FUENTE: ONU, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales

En el mundo desarrollado, la gente emplea su riqueza en obtener hipotecas que permiten, de una sola vez, adquirir materiales, contratar a constructores y levantar la vivienda. Los chabolistas no gozan de semejante lujo. Su «hipoteca» consta del tiempo que estén dispuestos a emplear en construir y reconstruir su hogar. En Bombay, los habitantes de las chozas a veces pasan años enteros apuntalando sus casas pared por pared. Las vallas publicitarias, los postes, los ladrillos recuperados y los azulejos medio desgastados se convierten en recursos valiosos.

Cuando los Gobiernos niegan a esas comunidades el derecho a existir, sus gentes tardan tiempo en acondicionar sus hogares. A finales de los años sesenta, las autoridades de Río de Janeiro declararon la guerra a las favelas. Los residentes temieron ser expulsados de sus casas o que les prendieran fuego, por lo que transcurrió largo tiempo antes de que volviesen a invertir en ellas. La mayoría de las favelas permaneció en un estado muy rudimentario, sin apenas diferencias con las chozas de barro y madera de Bombay o de Nairobi.

Sin embargo, cuando las autoridades disminuyeron su hostilidad hacia esos barrios y comenzaron a tratar con ellos, las favelas salieron al descubierto. Al gozar de mayor aceptación, sus moradores se deshicieron de las antiguas chozas y las reemplazaron por edificios de varias plantas de hormigón armado y ladrillo. Los *gatos* (instaladores clandestinos) les ofrecieron la oportunidad de desviar de manera ilegal la electricidad de la red municipal; aún hoy puede verse su trabajo en los postes coronados por trenzas de cables arrancados de cuajo. A partir de 1997, la compañía eléctrica entendió que los chabolistas no querían el servicio reducido y los cortocircuitos que conllevaba una conexión pirata. Hoy, la empresa ha llegado a acuerdos con numerosas comunidades a las que ha ofrecido cablear las favelas a cambio de que acepten los contadores y paguen por lo que usan. El programa ha gozado de un éxito enorme. Además, disponer de un servicio eléctrico regular ha supuesto una notable mejora sanitaria, ya que los chabolistas de Río usan tuberías de plástico y bombas eléctricas para hurtar agua de los depósitos municipales. Y, aunque eso también pueda calificarse de robo, ha dado acceso a agua potable a más de un millón de personas.

BAJO LAS SOMBRILLAS

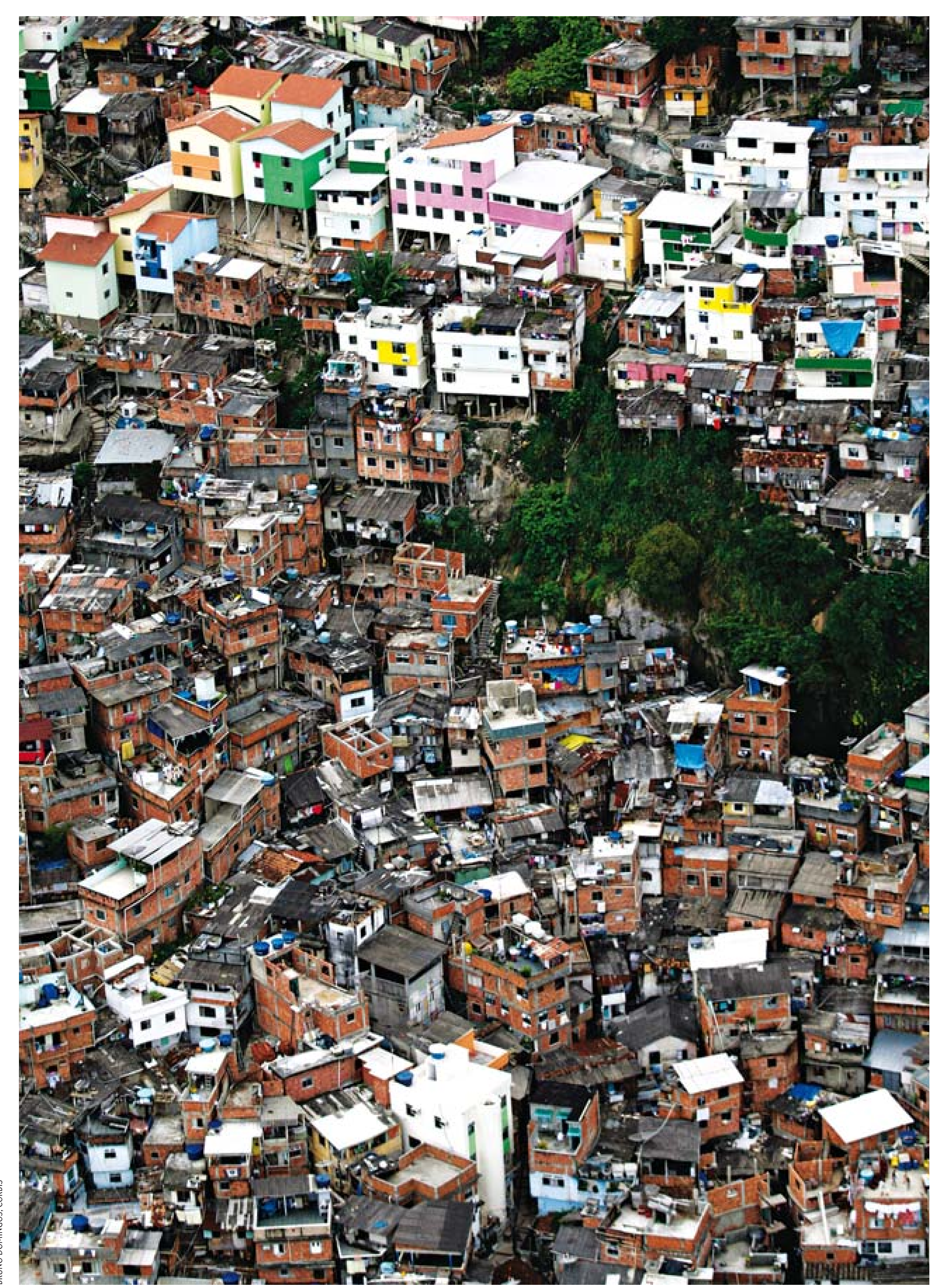
Así como los chabolistas están construyendo los barrios del futuro, los vendedores ambulantes y los operarios sin licencia están creando los empleos de mañana. Ningún Gobierno, multinacional u organización global sin ánimo de lucro puede reclamar para sí la capacidad de reemplazar a los 1800 millones de empleos que ha generado la economía sumergida. En la mayoría de las economías emergentes, la mayor esperanza de crecimiento se encuentra en la sombra.

En Lagos, los mercadillos han crecido hasta convertirse en enormes negocios callejeros: el Mercado Internacional de Alaba (de electrónica), la Ciudad del Ordenador Ikeja, el mercado de Ladipo y el de la Asociación de Repuestos de Automóvil y Concesionarios de Maquinaria han establecido complejas redes de comercio internacional. Los comerciantes viajan a lugares lejanos (hoy en día, casi todo el comercio se realiza con China) en busca de productos y beneficios. Importan la mayoría de los teléfonos móviles, dispositivos electrónicos y piezas de automóvil que se venden en el país, y sus negocios han traspasado las fronteras que habitualmente asociamos a la venta callejera. Remi Onyibo y Sunday Eze, dos de los cabecillas de la asociación de comerciantes de Alaba, apuntaban que el mercado mueve más de 3000 millones de dólares al año.

Ante tal poder económico, numerosas corporaciones han advertido que también ellas pueden aprovecharse de la iniciativa empresarial sin licencias. La telefonía móvil constituye un buen ejemplo. En Nigeria, este mercado lo lideran multinacionales como MTN (afincada en Sudáfrica), Zain (en Kuwait) y Globacom (con sede en Lagos, aunque ofrece servicio a gran parte de África occidental). Estas empresas mil millonarias obtienen la mayor parte de su dinero mediante la venta de tarjetas de recarga de móviles a través de una inmensa red de vendedores ambulantes que improvisan sus puestos junto a la carretera, bajo una sombrilla. «El mercado de las sombrillas reviste una importancia enorme ahora mismo», afirma Akinwale Goodluck, directivo de MTN en Nigeria. «Ningún operador serio puede permitirse el lujo de ignorar a los vendedores de las sombrillas.»

Una vendedora explicaba cuánto dinero se podía ganar con la actividad. Ella comenzó con 34 dólares en tarjetas de recarga. A los seis meses ya había multiplicado el volumen de su negocio por 60, lo que le aportaba un beneficio neto de 270 dólares al mes, cinco veces superior al salario mínimo de aquel momento. Pero a pesar de su éxito, y por muy responsable que sea como vendedora, las multinacionales prefieren guardar distancias. Las compañías despachan las tarjetas a distribuidores, que son quienes las revenden a los comerciantes de la calle. Las empresas pueden afirmar así que la red callejera consta de un ejército de contratistas independientes con quienes no guardan relación alguna y sobre quienes no tienen ninguna responsabilidad. Por desgracia, el Gobierno del estado de Lagos ha iniciado una campaña de desmantelamiento de mercadillos que ha puesto en grandes dificultades a los vendedores de tarjetas,

La favela de Santa Marta, también conocida como Dona Marta, es una de las más inclinadas de Río de Janeiro. En su momento fue también una de las más peligrosas. La zona ha mejorado de manera considerable a medida que el Estado la ha ido dotando de servicios públicos.



BRUNO DOMINGOS, CORBIS

Una vida más saludable para la población urbana

Por Gordon McGranahan y David Satterthwaite

La mayoría de quienes se mudaron a Londres, Nueva York, Chicago o Berlín durante el siglo XIX dieron su salud a cambio de un sueldo mejor. La masificación, la insalubridad del agua, unas instalaciones sanitarias deficientes, condiciones laborales adversas y la contaminación industrial deterioraron su salud y redujeron su esperanza de vida. En ese sentido, corrieron mucha mejor suerte quienes permanecieron en el campo.

A partir de mediados del siglo XIX, sin embargo, una serie de medidas auspiciadas por Gobiernos y líderes urbanos comenzaron a mejorar la salud de los ciudadanos al invertir en agua, instalaciones sanitarias, recogida de basuras o educación. Hoy en día, las urbes ricas se encuentran entre algunos de los sitios más salubres del planeta. Incluso en países con ingresos medios, los habitantes de las ciudades viven prácticamente ajenos a la amenaza de las epidemias que, desde siempre, han venido azotando a la población.

No obstante, los 900 millones de personas que hoy pueblan los asentamientos chabolistas del mundo continúan esperando la llegada de esos milagros. Allí se sufren los efectos de la masificación, del agua contaminada y de la ausencia de servicios médicos asequibles. En numerosos barrios, uno de cada seis niños muere antes de los cinco años de edad y la esperanza de vida no llega a la mitad que en las ciudades con las mejores condiciones sanitarias.

La situación no mejorará hasta que los Gobiernos no asuman una responsabilidad mayor sobre el bienestar de sus residentes más pobres. Sin embargo, muy a menudo los Gobiernos forman parte integral del problema. Gran parte de los asentamientos más miserables se hallan en terrenos subdivididos u ocupados de manera ilegal, por lo que la burocracia puede permitirse ignorar su existencia. Además, las leyes y las instituciones suelen dar por sentado que la gente puede acceder a viviendas más higiénicas y, por ello, con frecuencia hacen más por marginalizar que por ayudar a las comunidades que viven al borde de la subsistencia. En ocasiones, los Gobiernos se muestran reacios a tratar con los activistas que empujan a las comunidades pobres a organizarse para exigir mejoras, a pesar de que su participación en el proceso resulta imprescindible para que los programas gubernamentales cuenten con alguna posibilidad de éxito.

Pero existen también gestos en la dirección correcta. Algunos ayuntamientos han comenzado a reconocer los asentamientos de chabolas y a colaborar con sus habitantes para instalar infraestructuras sanitarias y otros servicios. Una de las iniciativas más eficaces ha sido un programa para aumentar la seguridad de la vivienda iniciado por el Instituto de Desarrollo de Organizaciones Comunitarias del Gobierno de Tailandia. Este proyecto ha apoyado cientos de planes comunitarios para elevar las condiciones de vida, como financiar mejores instalaciones de agua potable y de aguas residuales, o conceder préstamos a los residentes para que reformen sus hogares. En otros 15 países, asociaciones de chabolistas cooperan con las autoridades locales.

Como demuestran estos programas, la salud y el nivel económico de las clases más desfavorecidas se benefician cuando los Gobiernos, los organismos internacionales y los chabolistas cooperan para planificar, implementar y gestionar los cambios. Si de verdad se desea llevar a cabo una revolución urbana de valor, más ciudades deberían considerar a sus «incontables masas enfermizas» como socios con recursos y habilidades.

Gordon McGranahan *es investigador principal del Grupo de Asentamientos Humanos en el Instituto Internacional para el Desarrollo y el Medioambiente de Londres.* ***David Satterthwaite*** *investiga en el mismo centro.*

así como a una gran cantidad de comerciantes callejeros de cualquier tipo. Se trata de una política punitiva y contraproducente, ya que, a tenor de las propias estimaciones gubernamentales, entre el 70 y 80 por ciento de los trabajadores de la ciudad viven de la economía informal.

Con todo, las empresas en la sombra continúan creciendo. El que fuera el poblado chabolista de mayor tamaño de Bombay, Dharavi, posee sus propios enlaces con el comercio internacional. Aquí, talleres muy bien establecidos cosen bolsos de cuero y camisas que luego se distribuyen por todo el mundo. En Kibera, aunque sus habitantes no se hayan integrado aún en los mercados internacionales, abundan pequeños negocios que gozan de éxito. Las calles de barro de esta comunidad bullen con tiendas, bares, salones de belleza, panaderías, salones de té e iglesias (hasta los templos religiosos pueden funcionar como negocio). Algunos residentes de Kibera regentan negocios boyantes incluso en el centro de Nairobi. Y estas iniciativas resultan innovadoras tanto desde un punto de vista económico como social: una gran parte de los emprendedores de más éxito son mujeres, que hasta ahora nunca habían gozado de oportunidades de independencia y poder.

SALIR DE LAS SOMBRAS

La opinión mayoritaria en lo que respecta a la economía informal (asentamientos chabolistas o mercadillos callejeros) sostiene que se trata de una actividad delictiva y enemiga de la sociedad civil. Sin embargo, aparte de ocupar un territorio que técnicamente no les pertenece, la mayoría de los habitantes de los barrios chabolistas respeta la ley. Y, aunque no paguen impuestos, la mayor parte de quienes trabajan en la economía sumergida son miembros productivos de la sociedad.

De hecho, uno de los errores más extendidos acerca de la economía informal consiste en afirmar que no existe en el mundo desarrollado. A lo largo de la historia, los chabolistas han participado en la construcción de muchas de las mayores ciudades del mundo. La mayoría de las capitales europeas solían estar rodeadas por arrabales de chabolas. Hace un siglo y medio, San Francisco no era más que un pueblo pesquero. Se convirtió en capital de la fiebre del oro gracias a la legalización de miles de chabolas. En Nueva York, los barrios del Upper East Side y el Upper West Side, en el distrito de Manhattan, empezaron como comunidades chabolistas, al igual que muchos barrios de Brooklyn. De hecho, el último gran asentamiento chabolista del centro de Manhattan, conocido como Sunken Village («pueblo hundido»), no fue desplazado hasta 1904. En el mundo desarrollado, el público asocia la economía sumergida a actividades criminales, como el narcotráfico. Pero la mayoría de quienes viven bajo cuerda se dedica a negocios benignos, desde la construcción hasta la venta ambulante de comida, pasando por el diseño de ropa que luego se vende por Internet.

Esa visión errónea provoca que los legisladores creen divisiones abruptas que conducen a soluciones simplistas: legal e ilegal, productivo e improductivo, bueno y malo. Esa clase de oposiciones binarias pone en peligro el sustento de más de 1000 millones de personas y amenaza con bloquear una etapa importante del desarrollo global. Debe haber un punto medio, que no apoye todas las actividades semilegales, pero que permita que el mercado funcione de maneras diferentes.

Alfonso Morales, catedrático de urbanismo en la Universidad de Wisconsin–Madison, propone medidas de este tipo. Morales, que en parte se costeó los estudios de posgrado gracias a un trabajo como vendedor ambulante en Chicago, sugiere que los ayuntamientos de todo el mundo deberían ofrecer, por una suma respetable, licencias a los vendedores ambulantes a cambio de no perseguirles para que abonen impuestos. Hoy, los vendedores callejeros corren riesgos cada vez que salen a la calle. Una licencia significaría que la policía ya no podría acosarlos más, por lo que, según Morales, muchos de ellos estarían dispuestos a pagar un precio elevado por dicha protección. El Gobierno obtendría un provecho evidente: algún ingreso por parte de quienes, de otro modo, no aportarían nada a las arcas públicas. No supondría una solución perfecta —aparte de que algunas actividades, como la venta de alimentos, deberían cumplir con criterios de higiene alimentaria y otras normativas—, pero sí un paso importante en el camino que media entre la criminalización y el compromiso. Morales lo explica así: «Hemos de pasar de una mentalidad que solo contempla la aplicación de la ley a otra basada en aumentar el tamaño de la tarta y el de la porción que se lleva cada uno».

Martha Chen, profesora de la Escuela de Gobierno John F. Kennedy de la Universidad de Harvard, trabaja en contacto con empresas sumergidas debido a su cargo de coordinadora en la red Mujeres en Empleo Informal: Globalizar y Organizar (WIEGO). Según ella: «Tenemos que encontrar modelos que permitan al vendedor ambulante llevar a cabo su tarea junto a las tiendas de venta al por menor y los grandes centros comerciales. La economía informal no constituye el problema; forma parte de la solución. Los vendedores ambulantes, los recolectores de basura y las mujeres del mercadillo contribuyen realmente a la economía y a sus ciudades. ¿Cómo organizar nuestras urbes para que dispongan de un espacio? Lo que hemos de hacer con la economía informal es estudiar la forma de hacerla más productiva, eficaz y eficiente».

Desde luego, los Gobiernos no poseen un brillante historial a la hora de trabajar con gente cuya supervivencia depende de esconder sus hogares y sus ingresos de las autoridades. El Gobierno indio, por ejemplo, cuenta con una comisión ministerial dedicada al sector informal que, sin embargo, no ha evitado que los ayuntamientos apliquen políticas punitivas contra chabolistas y vendedores callejeros. Aun así, algunas iniciativas por parte de los afectados permiten albergar esperanzas. Ciertas comunidades chabolistas y mercados callejeros han desarrollado sus propios organismos de cooperación. En Bombay, las mujeres de los *jhopadpattis* y de los mercadillos han creado proyectos de ahorro comunitarios y sus propios planes de seguros. En las favelas, las familias se juntan en *mutiroes* (mutuas de construcción) a fin de compartir la mano de obra para levantar sus viviendas. En Kibera, las mujeres se agrupan en «tiovivos» donde cada una aporta su dinero para, cada semana, destinar a una mujer diferente la suma íntegra; una inyección de efectivo que ha permitido a muchas mujeres desarrollar sus negocios y alcanzar la independencia financiera. En Lagos, cada mercado ilegal cuenta con su propia asociación de autogobierno y, con frecuencia, hasta con un tribunal para resolver disputas.

Para un Gobierno con visión de futuro, cada una de estas instituciones caseras ofrece una oportunidad. Las *mutiroes* quizás evolucionen hacia cooperativas de construcción que respeten la normativa; los planes comunales de ahorro pueden convertirse en cooperativas de crédito o sociedades de microcrédito, y las asociaciones de los mercadillos podrían invertir en infraestructura y ofrecer sus propios servicios, como recogida de basuras y limpieza de calles. Quizá parezcan asuntos menores, pero sus consecuencias no se antojan desdeñables. Aunque esas iniciativas de cooperación se mantuviesen a pequeña escala, cuanto más permanentes e institucionalizadas se tornen, más fácil les resultará crear relaciones fructíferas con los organismos oficiales. Por otro lado, solo si las instituciones cooperan con esos grupos locales, lograrán desarrollar e incluir a las zonas más olvidadas y calumniadas del mundo urbano. Mediante una combinación de iniciativas en ambas direcciones, chabolistas y vendedores callejeros pueden guiar a las ciudades que hoy crecen a mayor velocidad.



STUART FRANKLIN, MAGNUM PHOTOS

Industria entre la miseria: **Los pescadores construyen sus casas sobre las aguas contaminadas de la laguna de Lagos, en el distrito de Ebute Metta, al norte de la ciudad.**

PARA SABER MÁS

Is informal normal? Towards more and better jobs in developing countries. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2009.

State of the world's cities 2010/2011: Bridging the urban divide. ONU-Habitat, 2010.

Urban world: Mapping the economic power of cities. Richard Dobbs et al. McKinsey Global Institute, 2011.

Cerebros sobre edificios

El éxito de una urbe reside en el nivel de educación y la iniciativa de sus ciudadanos, no en sus infraestructuras

Edward Glaeser

Detroit tuvo una vez 1,85 millones de habitantes. En la actualidad, cuenta con menos de 740.000. También el tamaño de Cleveland y St. Louis se ha reducido a la mitad desde 1950. Al otro lado del Atlántico, ciudades como Liverpool y Leipzig también han experimentado un declive drástico. Si hoy tantas ciudades se hallan en auge, ¿a qué se debe la decadencia de otras?

El progreso o el fracaso de una urbe vienen dictados por la técnica. Detroit, así como el resto de las ciudades de los Grandes Lagos, se establecieron como núcleos de transporte agrícola con anterioridad a la guerra de Secesión estadounidense. Después, disfrutaron de una segunda fase de crecimiento acelerado cuando la industria se instaló junto a los cursos de agua para acceder con facilidad a las materias primas. Pero esas ventajas geográficas desaparecieron en el siglo xx, cuando el coste del transporte ferroviario disminuyó en más del 90 por ciento y los fabricantes se reubicaron en zonas con mano de obra más barata, como el sur del país.

El fin de la industrialización golpeó a todas las ciudades. En Nueva York, la producción textil cayó en picado. Hace cuarenta años, cuando los recortes en Boeing parecieron poner en peligro a Seattle, dos individuos levantaron un letrero donde se leía: «El último en salir, que apague la luz».

El declive económico ha venido acompañado a menudo de malestar social, como ocurrió en Detroit en 1967, cuando una oleada de disturbios acabó con unos 2000 edificios. La política ha estado dominada con frecuencia por las fracturas sociales.

Lo sorprendente no es que las ciudades decaigan, sino que logren reinventarse a sí mismas. En la actualidad, Seattle se ha convertido en sinónimo del éxito en la era de la información. También Nueva York, Boston y Minneapolis han renacido. Las principales razones parecen residir en la educación y en el espíritu emprendedor de sus ciudadanos.

En las áreas metropolitanas del Medio Oeste y del nordeste de EE.UU., donde en 1970 menos del 7,5 por ciento de los adultos poseía un diploma universitario, la población aumentó en un 8 por ciento entre 1970 y 2000. Por otro lado, allí donde más del 15 por ciento de los habitantes contaba con una titulación superior, el censo creció en un 53 por ciento. Con anterioridad a 1970, los incrementos de población guardaban una mayor correlación con las tasas de finalización de la secundaria que con el número de graduados universitarios. A partir de entonces, la universidad se convirtió en el factor decisivo. Hoy, ciudades como Boston están logrando unos resultados casi tan buenos como los que permite augurar su nivel educativo.

¿Deben las ciudades su éxito al nivel educativo de sus habitantes, o más bien atraen las urbes prósperas a personas formadas? Los registros históricos revelan que el nivel educativo de la población de una ciudad no varía demasiado con el tiempo. El porcentaje de adultos con un diploma universitario en 1940 guarda una fuerte relación con los niveles de formación de 1970 y con los actuales, así como con unos ingresos elevados y con el crecimiento de la población durante las últimas décadas. La presencia de una universidad en terrenos cedidos por el Gobierno antes de 1940 se correlaciona con salarios más altos y una mayor tasa de crecimiento actuales en esa área metropolitana. Por tanto, parece que es la educación la que engendra éxito, en lugar de a la inversa.

La iniciativa empresarial también se revela determinante. Los factores que indican la existencia de una cultura emprendedora, como la cuota de empleo en empresas emergentes o el tamaño medio de las compañías, se hallan vinculados a una reinvención urbana exitosa. Como sucede con la educación, también aquí la iniciativa parece preceder al éxito. Las ciudades con un espíritu emprendedor pobre en 1900, como las dominadas por las grandes compañías mineras y manufactureras, siguen careciendo hoy de iniciativa y continúan dominadas por grandes empresas orientadas a la importación y exportación, las cuales han quedado rezagadas desde un punto de vista económico.

Por desgracia, hace bastante poco que los urbanistas comenzaron a apreciar la importancia de la educación. Durante gran parte del último medio siglo, el Gobierno de EE.UU. empujaba a las ciudades en declive a poner en marcha proyectos de construcción y transporte, inútiles contra la decadencia. No existe una conexión entre las políticas de renovación urbanística y el renacimiento urbano. La futurista Detroit People Mover (una línea ferroviaria elevada) se desliza sobre calles desoladas. Son las destrezas de sus habitantes, y no las estructuras urbanas, las que constituyen el mejor antídoto contra el fracaso de una ciudad.

PARA SABER MÁS

Downsizing cities. Witold Rybczynski en *The Atlantic*, vol. 276, n.º 4, págs. 36-47, octubre de 1995.
Are cities dying? Edward L. Glaeser en *Journal of Economic Perspectives*, vol. 12, n.º 2, págs. 139-160, 1998.
Which places are growing? Edward L. Glaeser. Rappaport Institute/Taubman Center, marzo de 2011.

OLIVER MUNDAY



por Anna Kuchment

Calaveras que hablan

Un nuevo programa informático en 3D ayuda a identificar con mayor rapidez y precisión el sexo y origen ancestral de restos humanos

Al igual que los detectives de la serie televisiva *Caso abierto*, la antropóloga Ann H. Ross, de la Universidad estatal de Carolina del Norte, pasa gran parte de su tiempo pensando en delitos no resueltos. Su trabajo más reciente ha consistido en desarrollar un programa informático que ayuda a los científicos forenses a determinar el sexo y los ancestros de cráneos humanos modernos.

Los forenses suelen utilizar calibres, unas regletas deslizantes, para determinar las medidas de los restos. Con ese procedimiento obtienen mediciones bidimensionales. El programa de Ross, llamado 3D-ID y desarrollado con una beca del Departamento de Justicia de Estados Unidos, se basa en mediciones tridimensionales que los científicos realizan con un digitalizador (un ordenador y un puntero). «El puntero te permite colocar las coordenadas en el espacio real, con lo que adquieres una idea más clara de la forma biológica que estás analizando», afirma Ross.

En un estudio publicado el presente año, el equipo de Ross demostró, a partir de una muestra de la población española, que el tamaño del cráneo femenino se había ido acercando al masculino desde el siglo XVI, un hallazgo que tal vez se pueda aplicar a otras poblaciones. A diferencia de otros programas forenses más antiguos, el 3D-ID permite prescindir del tamaño en el análisis y, al tener en cuenta únicamente la forma, logra resultados más precisos. Las imágenes muestran algunas de las características que usa el nuevo programa para determinar si un cráneo pertenece a un hombre o a una mujer.



Cresta de la nuca
Esta área, donde los músculos de la parte posterior del cuello se unen a la base del cráneo, es lisa y redondeada en las mujeres.

Mandíbula
La mandíbula femenina suele exhibir un tamaño inferior a la masculina; además, termina en punta o es redondeada.

Frente
La frente de las mujeres es más vertical que la de los hombres, lo que les confiere una apariencia más infantil, afirma Ross. Los hombres suelen tener frentes más inclinadas.

Cresta de la nuca
Debido a que los hombres poseen músculos del cuello más fuertes —y en general más marcados— que las mujeres, esta zona es más prominente. Normalmente, presenta rasgos más duros y un resalte.

HOMBRE

Ceja
El borde superciliar, la zona que se halla justo por encima del ojo y que sigue aproximadamente la línea de la ceja, es fina y puntiaguda en las mujeres. «Si colocamos el pulgar bajo el borde exterior de la ceja de una mujer, veremos que está bien definido», señala Ross. Además, las mujeres tienen un arco superciliar pequeño o inexistente. En cambio, los hombres tienen un borde superciliar redondeado y su arco superciliar es más pronunciado que el de las mujeres.

Mandíbula
Los hombres suelen poseer una mandíbula ancha y cuadrada.

FOTOGRAFÍAS DE FLOTO + WARNER

por Mario Livio

Mario Livio es astrofísico teórico en el Instituto Científico de Telescopios Espaciales de Baltimore.



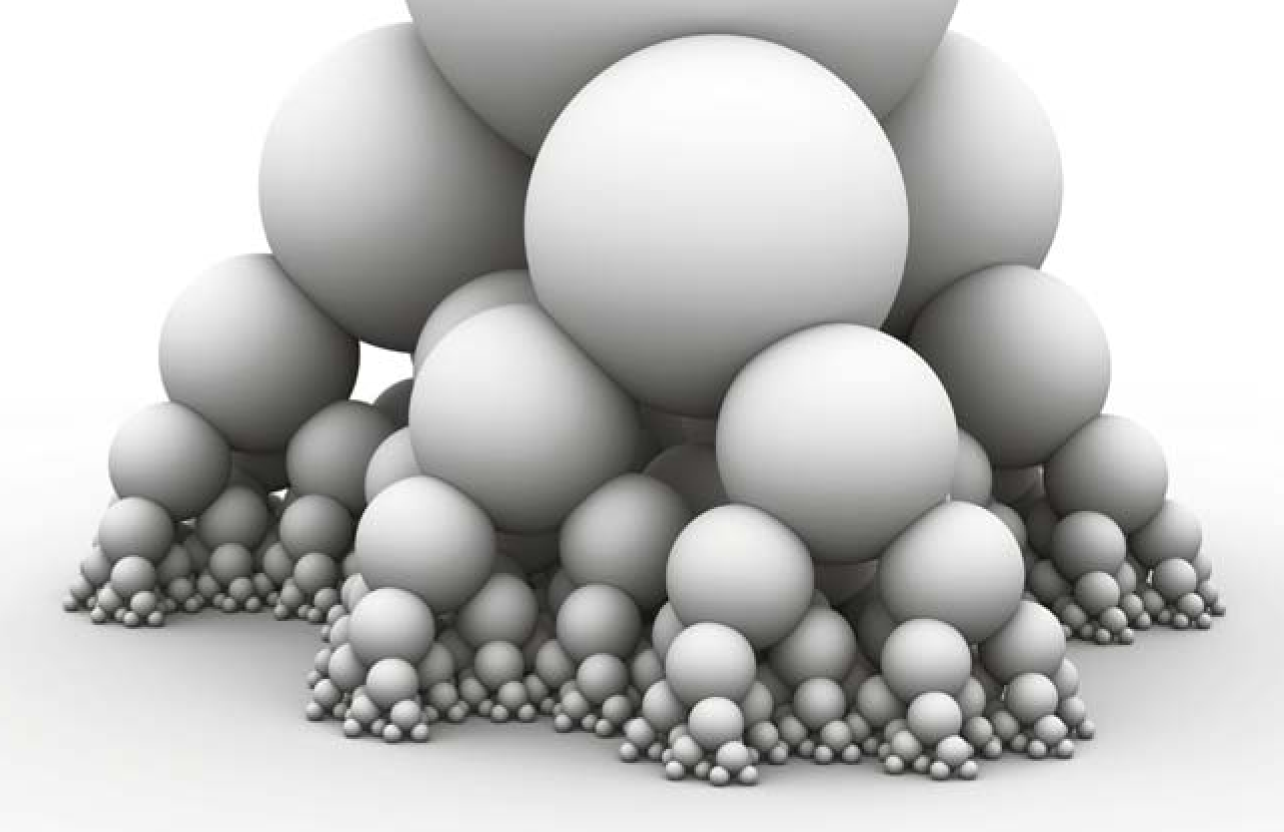
La irrazonable eficacia de las matemáticas

¿Es la matemática una invención o un descubrimiento?

Muchos de nosotros damos por sentado que las matemáticas funcionan. Los físicos formulan ecuaciones que describen el comportamiento de las partículas subatómicas y los ingenieros calculan la trayectoria de una nave espacial. Aceptamos el punto de vista propugnado por Galileo: las matemáticas constituyen el lenguaje en el que está escrito el libro de la naturaleza. Esperamos que su gramática explique los resultados experimentales y que incluso prediga nuevos fenómenos. Resulta muy difícil subestimar su poder. Considere, por ejemplo, las ecuaciones de Maxwell. Esas cuatro expresiones no solo resumían todos los conocimientos de la época sobre la electricidad y el magnetismo, sino que predijeron la existencia de las ondas de radio dos décadas antes de que Heinrich Hertz las detectara. Pocos lenguajes logran articular tanto de manera tan sucinta y precisa. Albert Einstein se preguntaba: «¿Cómo es posible que las matemáticas, una creación humana independiente de la experiencia, se ajusten de una manera tan excelente a los objetos de la realidad física?».

El quid de la cuestión encierra un debate que matemáticos, físicos, filósofos y científicos cognitivos han mantenido desde hace siglos. ¿Son las matemáticas un conjunto de herramientas inventadas, como opinaba Einstein, o existen de veras en algún dominio abstracto, cuyas propiedades nos limitamos a descubrir los humanos? Muchos matemáticos brillantes, como David Hilbert, Georg Cantor y el grupo conocido como Nicolas Bourbaki, compartieron el parecer de Einstein, asociado a la escuela formalista; otros, como Godfrey Harold Hardy, Roger Penrose o Kurt Gödel, han sostenido la postura contraria, el platonismo matemático.

El debate sobre la naturaleza de las matemáticas sigue vivo y parece evadir una respuesta. En mi opinión, plantear la pregunta en términos binarios excluye una posibilidad más sutil: que tanto la invención como el descubrimiento desempeñen funciones clave. Es la combinación de ambos lo que da



TOM BEDDARD

cuenta del excelente funcionamiento de las matemáticas. Y aunque eliminar la dicotomía no explique por completo la eficacia de las matemáticas, se trata de un problema tan profundo que hasta el paso más modesto hacia su solución constituiría un progreso.

Invención *y* descubrimiento

Las matemáticas tienen dos formas de resultar irrazonablemente eficaces: una activa y otra pasiva. En ocasiones, los científicos crean métodos específicos para cuantificar fenómenos del mundo real. Isaac Newton concibió el cálculo diferencial con el propósito de captar el movimiento y el cambio, para lo cual los subdividió en «fotogramas» infinitesimales. No debe extrañar que esta clase de invenciones «activas» resulten eficaces: después de todo, las herramientas están hechas a la medida. Lo sorprendente es la excelente precisión que alcanzan en algunos casos. Consideremos, por ejemplo, la electrodinámica cuántica, la teoría concebida para describir la interacción entre luz y materia. Al emplearla para calcular el momento magnético del electrón, la predicción teórica reproduce el valor experimental más reciente (según las mediciones de 2008, 1,00115965218073, en las unidades apropiadas) con una precisión de unas pocas partes por billón.

Pero lo que quizá resulte aún más sorprendente es que, otras veces, los matemáticos generen nuevos campos de estudio sin ninguna aplicación en mente y, décadas o siglos después, los físicos les encuentren utilidad para entender sus observaciones. Los ejemplos de esta clase de eficacia «pasiva» abundan. El matemático Évariste Galois desarrolló la teoría de grupos a principios del siglo XIX con el único propósito de determinar las condiciones necesarias y suficientes para resolver ecuaciones polinómicas. A muy grandes rasgos, un grupo es una estructura algebraica compuesta por un conjunto de entidades (los números enteros, por ejemplo) y una serie de operaciones entre ellos (como la suma) que obedecen ciertas reglas (como la existencia de un elemento neutro —el 0— que, al sumarlo a cualquier otro entero, da como resultado el mismo número). La física del siglo XX halló en este campo tan abstracto la clave para categorizar las partículas elementales. En los años sesenta, Murray Gell-Mann y Yuval Ne'eman mostraron de manera independiente que cierto grupo denominado $SU(3)$ reflejaba el comportamiento de los hadrones (las partículas compuestas por quarks). Dicha conexión acabó por forjar los fundamentos de la teoría moderna que explica por qué los núcleos atómicos se mantienen unidos.

La teoría de nudos proporciona otro hermoso ejemplo de eficacia pasiva. Los nudos matemáticos son similares a los nudos comunes y corrientes, salvo que los primeros carecen de cabos sueltos. Hacia 1860, Lord Kelvin albergaba la esperanza de describir los átomos como tubos de éter anudados. Aquel modelo no halló ninguna correspondencia con la realidad, pero los matemáticos continuaron estudiando los nudos durante largo tiempo. Hoy, la teoría de nudos nos ha ayudado a formular la teoría de cuerdas y la gravedad cuántica de bucles, nuestros mejores intentos por articular una teoría del espaciotiempo que reconcilie a la mecánica cuántica con la relatividad general. Del mismo modo, los hallazgos de Godfrey Harold Hardy en un campo tan abstracto como la teoría de números trajeron consigo grandes avances en criptografía, a pesar de que el propio Hardy llegase a declarar que nadie había hallado jamás «una aplicación bélica de la teoría de números». En 1854, Bernhard Riemann desarrolló las geometrías no euclídeas, el estudio de los espacios en los que las líneas paralelas tienen permitido converger o divergir. Más de medio siglo después, Einstein se sirvió de la geometría diferencial para construir la teoría general de la relatividad.

Emerge un patrón: los humanos inventan conceptos matemáticos a través de la abstracción de elementos del mundo que los rodea —figuras, líneas, conjuntos, grupos, etcétera—, ya sea con algún propósito concreto o simplemente por diversión. Después, descubren conexiones entre dichos conceptos. Dado que ese proceso de invención y descubrimiento es obra nuestra —a diferencia del tipo de descubrimiento que postulan los platonistas—, las matemáticas de basan, en último término, en nuestras percepciones y en las imágenes mentales que somos capaces de evocar. Por ejemplo, todos poseemos un talento innato (que ha sido denominado «subitación», del inglés *subitizing*) que nos permite reconocer cantidades al instante; sin duda, esto nos condujo al concepto de número. Contamos asimismo con grandes facultades para percibir los contornos de los objetos y distinguir entre líneas rectas y curvas, así como entre formas diferentes, como círculos y elipses. Tales habilidades probablemente nos guiaron hacia el desarrollo de la aritmética y la geometría. Del mismo modo, nuestra experiencia constante sobre causas y efectos también debió contribuir, en parte al menos, a la creación de la lógica y, con ella, a la idea de que ciertos enunciados implican la validez de otros.

Selección y evolución

Al matemático alemán Leopold Kronecker debemos la famosa declaración: «Dios creó los números naturales, todo lo demás es obra humana». Michael Atiyah, uno de los matemáticos más brillantes del siglo XX, concibió un elegante experimento mental para ilustrar en qué medida nuestra percepción condiciona los conceptos matemáticos que podemos concebir, incluso aquellos en apariencia tan fundamentales como los números. Imaginemos qué sucedería en un mundo en el que la inteligencia no fuese un atributo humano, sino exclusivo de una medusa solitaria y aislada en medio del océano Pacífico. Todo en la experiencia de dicha criatura sería continuo: desde el flujo del agua circundante hasta los cambios de temperatura y presión. Bajo tales condiciones, y en ausencia de otros objetos o cosa alguna de carácter discreto, ¿surgiría el concepto de número? Si no hubiera nada que contar, ¿existirían los números?

Al igual que la medusa, también nosotros adoptamos herramientas matemáticas aplicables a lo que nos rodea; un hecho que, indudablemente, ha contribuido a la eficacia de las matemáticas. Los científicos no escogen métodos analíticos de manera arbitraria, sino basándose en lo aptos que resulten para predecir resultados experimentales. Cuando, en una pista de tenis, la máquina lanza una pelota tras otra, utilizamos los números naturales para describir el flujo de bolas. Pero cuando un bombero utiliza su manguera, debe recurrir a otros conceptos, como volumen o peso, si desea emitir una descripción inteligible del flujo de agua. Y cuando las partículas subatómicas chocan en un acelerador, se emplean conceptos como energía y momento, pero no el número de partículas, ya que en el proceso pueden crearse otras nuevas.

Conforme pasa el tiempo, sobreviven solo los mejores modelos. Los fallidos —como el intento de René Descartes de describir el movimiento de los planetas mediante vórtices de materia cósmica— mueren al poco de haber nacido. Los modelos exitosos, en cambio, evolucio-

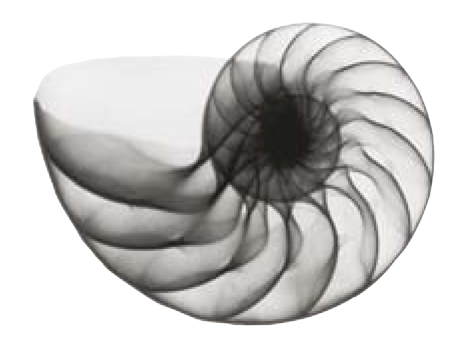
nan a medida que disponemos de más y más información. La medición minuciosa de la precesión del perihelio de Mercurio, por ejemplo, nos llevó a revisar la teoría newtoniana de la gravitación y ampliarla por medio de la relatividad general de Einstein. Todo concepto matemático exitoso vive durante largo tiempo. La fórmula para el área de una esfera es tan correcta hoy como lo fue cuando Arquímedes la demostró hacia 250 a.C. Como resultado, en cada época disponemos de un arsenal de formalismos cada vez mayor en el que buscar los métodos más apropiados.

Los científicos no se limitan a escoger la solución que más se adapta a sus necesidades; seleccionan también los problemas que mejor se avienen a un tratamiento matemático. Existe, sin embargo, una serie de fenómenos para los que no es posible realizar predicciones matemáticas precisas; en ocasiones, ni siquiera en principio. En economía existen numerosas variables —la psicología de las masas, por nombrar una sola— que no se prestan con facilidad a un análisis cuantitativo. La capacidad de predicción de una teoría depende de la constancia de las relaciones más profundas entre sus variables. Nuestros análisis tampoco capturan bien el comportamiento de los sistemas caóticos, aquellos en los que el menor cambio en las condiciones iniciales deriva en resultados por completo diferentes. Los matemáticos han desarrollado la teoría de la probabilidad y la estadística para lidiar con tales problemas, pero, como ya demostrara el lógico Kurt Gödel, incluso la matemática posee límites.

Simetría y naturaleza

La selección cuidadosa de problemas y soluciones explica solo parcialmente el éxito de las matemáticas para describir las leyes de la naturaleza: antes que nada, tales leyes deberían existir. Por fortuna, el cosmos parece regirse por leyes universales. Un átomo a doce mil millones de años luz de distancia se comporta del mismo modo que un átomo en la Tierra; la luz del pasado remoto y la del presente comparten las mismas propiedades, y las mismas fuerzas gravitatorias que moldearon las primeras estructuras cósmicas gobiernan hoy las galaxias. Para describir esta inmunidad al cambio, los físicos y los matemáticos han inventado el concepto de simetría.

Las leyes de la física parecen ser simétricas con respecto al espacio y al tiempo: su validez no depende de dónde, cuándo o desde qué ángulo se las examine. Se muestran idénticas para cualquier observador, con independencia de si este permanece estático, se mueve a velocidad constante o de manera acelerada. Por tanto, las mismas leyes explican los mismos resultados, llevemos a cabo nuestros experimentos en China, Alabama o en la galaxia de Andrómeda, y los efectuemos hoy o dentro de mil millones de años. Si el universo careciese de tales simetrías, cualquier intento de descifrar su comportamiento —cualquier modelo matemático basado en nuestras observaciones— se vería abocado al fracaso, ya que tendríamos que repetir una y otra vez los mismos experimentos en cada lugar y en cada momento.



EDWARD CHARLES LE GRICE, GETTY IMAGES

Nadie sabe por qué el universo exhibe ciertas regularidades, denominadas simetrías, que permiten a los físicos describirlo con herramientas matemáticas

Las leyes que describen las partículas subatómicas se basan en simetrías aún más sutiles: las llamadas simetrías *gauge* o «de recalibración». Debido a la borrosidad intrínseca al mundo cuántico, una misma partícula puede ser un electrón —dotado de carga negativa—, un neutrino —sin carga eléctrica— o una mezcla de ambos; al menos, hasta que midamos su carga eléctrica. Sucede que las leyes de la naturaleza adoptan la misma forma cuando intercambiamos electrones por neutrinos o por una mezcla de ambos. El mismo principio se aplica a otras partículas fundamentales. Sin dichas simetrías, hubiera resultado extremadamente difícil hallar una formulación de las interacciones fundamentales de la naturaleza. Tampoco habríamos avanzado gran cosa sin el principio de localidad, el hecho de que cualquier objeto solo pueda verse afectado por su entorno más inmediato y nunca por fenómenos distantes. Gracias a la localidad, podemos aspirar a construir un modelo matemático del universo tal y como armamos un rompecabezas: partiendo de una descripción de las interacciones básicas entre partículas elementales e incorporando sobre ella más y más conocimiento.

Nuestro mejor intento matemático por unificar todas las interacciones fundamentales requiere una simetría más, denominada supersimetría. En un universo supersimétrico, por cada partícula que conocemos debería existir otra, aún por descubrir (su «compañera supersimétrica»). Hallar tales partículas (algo que quizá se logre cuando el Gran Colisionador de Hadrones del CERN, cerca de Ginebra, funcione a la máxima energía prevista) supondría un triunfo más de la eficacia de las matemáticas.

Comencé este artículo con dos preguntas básicas e interrelacionadas: ¿La matemática, se inventa o se descubre? Y ¿qué otorga a las matemáticas su poder de explicación y predicción? Creo que sabemos la respuesta a la primera de ellas: las matemáticas constituyen una fusión intrincada de invenciones y descubrimientos. Los conceptos son por lo general inventados y, aunque todas las relaciones correctas entre ellos existiesen antes de su descubrimiento, somos los humanos quienes decidimos cuáles estudiar. No cabe duda de que la selección de asuntos que hemos decidido abordar por medios matemáticos ha desempeñado una función importante en la eficacia percibida de la matemática. Pero esta no funcionaría si no existiesen propiedades universales esperando ser descubiertas. Pero, ahora, podríamos preguntarnos por qué la naturaleza se rige por leyes universales. O, de manera equivalente, por qué nuestro universo obedece ciertas simetrías y el principio de localidad. Ciertamente, desconozco la respuesta a tales preguntas; solo quisiera señalar que, tal vez, en un universo sin esas características, la complejidad y la vida jamás habrían aparecido y no estaríamos aquí para hacernos tales preguntas.

PARA SABER MÁS

The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. Eugene Wigner en *Communications in Pure and Applied Mathematics*, vol. 13, n.º 1, págs. 1-14, febrero de 1960.

Creation vs. discovery. Michael Atiyah en *Times Higher Education Supplement*, 29 de septiembre de 1995.

La trama oculta del universo: Contar, pensar y existir. John D. Barrow. Editorial Crítica, 2001.

¿Es Dios un matemático? Mario Livio. Editorial Ariel, 2009.

por José M.ª Ezquiaga

José M.ª Ezquiaga es doctor en arquitectura y sociólogo. Es profesor de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid y Premio Nacional de Urbanismo.



Paisajes posmetropolitanos

Las ciudades han dejado de ser entidades continuas y compactas para dirigirse hacia un nuevo territorio articulado en torno a grandes ejes suprarregionales

Quizá lo que mejor caracterice la condición contemporánea de las ciudades sea una transformación tan profunda como la experimentada en la fase de surgimiento de las sociedades industriales y, como corolario, la crisis de las ideas tradicionales de urbanidad, espacio público y paisaje. Desde la utilización por los sociólogos de la Escuela de Chicago, en los años veinte del siglo pasado, de la metáfora orgánica para explicar el ciclo vital de las ciudades, hasta la concepción del planeamiento como expresión de la vocación espacial de un sujeto ciudad, se ha atribuido a la ciudad una imagen equívoca de entidad coherente y unitaria. Sin embargo, la ciudad no es tanto un actor como un lugar ocupado por muchos actores.

Como resultado de la nueva economía basada en la información y el conocimiento, la expresión contemporánea de la condición urbana asume una multiplicidad de configuraciones espaciales, tanto en escala geográfica como en cualidad, en abierta ruptura con las configuraciones tradicionales. A partir del reconocimiento de la creciente primacía de los flujos y las redes virtuales, y la consecuente desterritorialización que ello supone, pensadores como Melvin M. Webber, Saskia Sassen, William J. Mitchell o François Asher se han preguntado acerca del futuro de las grandes aglomeraciones urbanas.

Las metrópolis occidentales constituyen hoy hiperconcentraciones de infraestructuras y el ámbito donde se materializa la relación entre el mercado y la esfera pública, un conflicto que explica la moderna construcción del espacio social y sus expresiones arquitectónicas. Las transformaciones de estas metrópolis pueden entenderse como un proceso de superación de las limitaciones espaciales en saltos sucesivos de organización y escala.

Se formaron primero las áreas metropolitanas, las cuales superaron los límites de la ciudad tradicional, continua y compacta. Llegó luego la ciudad-región polinuclear, que supuso una nueva ampliación de la escala de interacción y la superación de la relación simple de dependencia de los núcleos metropolitanos. Sin embargo, conllevó también la generación de nuevos y grandes desequilibrios territoriales, entre ellos el aumento exponencial de la superficie urbanizada y el declive de los núcleos centrales tradicionales. Como consecuencia de esta presión urbanística sostenida, fue desapareciendo el ámbito de lo rural y se multiplicaron los terrenos residuales en expectativa de desarrollo situados en los márgenes de las áreas urbanizadas.



CORTESÍA DE JOSÉ M.ª EZQUIAGA (*Shanghái*)

Pero la evolución de la metrópoli no se ha detenido en esa fase. Nos encontramos hoy en el umbral de un salto cualitativo hacia la conformación de un nuevo territorio articulado en torno a grandes ejes de desarrollo suprarregional, que, siguiendo a Edward W. Soja, podríamos denominar *posmetropolitano*.

Se caracterizaría por una exurbanización distante, como nueva etapa de la suburbanización, apoyada sobre la expansión de las redes arteriales metropolitanas. Un proceso que genera a la vez configuraciones nebulosas poco densas y corredores de concentración de actividades.

El territorio posmetropolitano sufre también el efecto «antidistancia» de las nuevas líneas de ferrocarril de alta velocidad y de los aeropuertos locales apoyados en la rápida expansión de las compañías aéreas de bajo coste.

Asimismo, experimenta la transformación de las pautas organizativas del nuevo territorio por las que la ciudad-región geográficamente fragmentada y funcionalmente especializada se transforma de forma progresiva en un territorio de gran complejidad.

Se produce también la reactivación de la ciudad central. Paradójicamente, la conformación polinuclear y el incremento de escala de la metrópoli otorgan un nuevo valor estratégico al espacio central, lo que explica la reciente multiplicación de proyectos públicos y privados para su transformación.

En consecuencia, no existe una forma canónica de la metrópoli contemporánea. La idea de proyecto de ciudad o modelo normativo, en las claves de la planificación tradicional, resulta válida solo en la microescala. La emergencia de un nuevo territorio cambia las claves de comprensión e intervención sobre los hechos urbanos y demanda nuevos instrumentos y estilos de planificación. Hay que deshacerse de viejos prejuicios para decodificar las nuevas formas de organización metropolitana y poder formular principios eficientes para proyectar el territorio.

Esos principios no podrán ser ya analogías geométricas, como en la tradición del pensamiento urbanístico, sino *estrategias* adaptadas a un tablero de juego en movimiento, en el que no solo es importante el *qué* y el *cuánto,* sino la *sintaxis* y el *tiempo*. Es decir, definir cómo y en qué escalas temporales se construye el territorio. Esta aproximación nos devuelve, de forma paradójica, a los momentos fundacionales del urbanismo a finales del siglo XIX y principios del XX, cuando este se manifestaba como instrumento de una más amplia visión de la transformación social y no solo como herramienta reguladora.

SOSTENIBLES

Rehabilitar la ciudad

Mediante la modernización de edificios y la aplicación de técnicas avanzadas se puede reducir la contaminación y mejorar la vida urbana

David Biello

EN SÍNTESIS

La planificación de nuevas ecociudades suscita gran interés, pero dada la gran población que reside en las metrópolis actuales resultará más práctico reacondicionar estas para que sean sostenibles y respeten el medio.

Preparar las ciudades existentes para el futuro exigirá aplicar técnicas avanzadas así como estrategias sencillas.

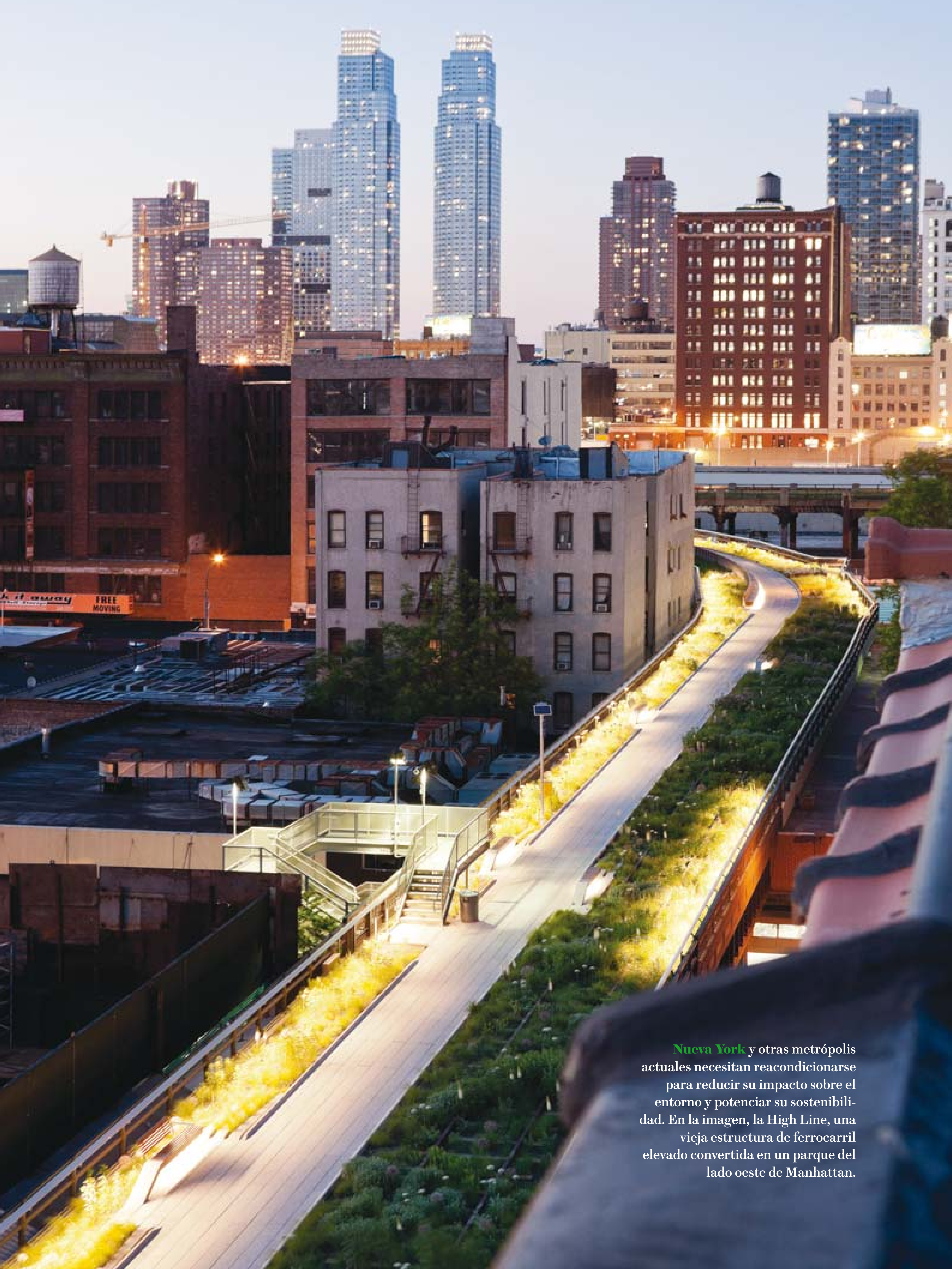
DONGTAN IBA A SER UNA CIUDAD ecológica modelo. Cientos de planos, mapas y gráficos documentaban este último paraíso urbano, exponente de la técnica más avanzada, en la isla china de Chongming, en la desembocadura del Yangtsé. Los edificios, de alto rendimiento energético, se construirían próximos entre sí para favorecer los desplazamientos a pie, y solo se permitiría el uso de coches de propulsión eléctrica o de hidrógeno. Los alimentos vendrían de granjas ecológicas cercanas; los vientos marinos y la combustión de la cáscara de arroz, cultivo básico en China, asegurarían el suministro energético de la ciudad. Los canales y lagunas de los alrededores compondrían un paisaje relajante para los humanos y un descanso duradero para las aves migratorias.

Pese a perspectivas tan ambiciosas, la ciudad-isla de Dongtan sigue sin construirse, y no está claro si el Gobierno chino ha abandonado definitivamente el proyecto. Se preveía haberlo terminado para 2010, pero solo llegó a construirse un túnel y un puente entre Chongming y el continente en 2009. Es uno de los numerosos proyectos de ecociudades que han fracasado en el mundo, muchos de ellos a causa de su elevado coste. Sin embargo, aunque todos se hubiesen llevado a cabo, su efecto sobre el consumo energético global y las emisiones de gases habría resultado mínimo, dado que la inmensa mayoría de los urbanitas seguiría viviendo en las ciudades actuales. No cabe confiar por tanto en que las nuevas construcciones resuelvan, mediante procesos ecológicamente sanos, todas las exigencias de alimentación, alojamiento y transporte que plantea la población urbana. Hay que buscar otras soluciones.

El primer requisito es contar con el futuro. Los núcleos de las urbes son hoy, en muchos aspectos, más ecológicos que los suburbios. Entre otras cosas, porque los urbanitas gastan menos energía y emiten menos dióxido de carbono por vivienda que los habitantes de la periferia ya que residen en barrios más compactos y utilizan el transporte público. Pero ello no basta para el aprobado ecológico. Las ciudades, además, han de ser sostenibles. Es decir, deben cumplir lo prescrito en 1987 por la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medioambiente y el Desarrollo: «satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones». Las metrópolis existentes no podrán mantenerse por sí solas si se las deja actuar en el sistema de mercado actual, puesto que la demanda de recursos sobrepasará el abastecimiento cuando el número de residentes urbanos crezca desde los 3000 millones de hoy hasta más de 6000 millones hacia 2050. Las numerosas poblaciones tradicionales que crecen vertiginosamente en China, India y otras partes del mundo se enfrentan al mismo reto.

En teoría, las nuevas urbes podrían haber integrado desde el principio la sostenibilidad en su infraestructura, tal como se había previsto en Dongtan. Pero dado el elevado número de ciudades exis-

IWAN BAAN



Nueva York y otras metrópolis actuales necesitan reacondicionarse para reducir su impacto sobre el entorno y potenciar su sostenibilidad. En la imagen, la High Line, una vieja estructura de ferrocarril elevado convertida en un parque del lado oeste de Manhattan.

UN TONO MÁS AGUDO

El carbonero común (*Parus major*) es un ave que en la ciudad canta a frecuencias más altas para hacerse oír sobre el incesante estruendo.

FUENTE: «Ecology: Birds Sing at a Higher Pitch in Urban Noise». Hans Slabbekoorn y Margriet Peet, en *Nature*, vol. 424, 17 de julio de 2003.

tentes, resultaría más provechoso reacondicionarlas para que fuesen sostenibles. Saskia Sassen, socióloga y experta en urbanismo de la Universidad de Columbia, afirma que se ha de trabajar sobre las urbes actuales. Ello costaría menos que reedificarlas del todo y contribuiría a ahorrar enormes cantidades de agua y energía, lo que permitiría a estas ciudades seguir prosperando en los siglos venideros. Para alcanzar tales objetivos, los ingenieros, urbanistas y autoridades locales podrían inspirarse en los proyectos fracasados de ecociudades, que han servido como vivero de innovaciones. Cambios tan sencillos como la formación de supervisores de obra que aseguraran la aplicación de las mejores técnicas ayudarían asimismo a prolongar la vida útil de nuestras ciudades.

AHORRAR ENERGÍA

Para que las ciudades se adapten a un mundo abocado al calentamiento global, resulta esencial mejorar el rendimiento energético y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero con miras a evitar alteraciones climáticas aún más graves. En una reciente reunión de alcaldes del C40 (grupo de planificación de 59 grandes ciudades que se han propuesto combatir el cambio climático), Michael Bloomberg, alcalde de la ciudad de Nueva York, destacaba el papel de las urbes como centros primarios de la actividad económica mundial que consumen notables cantidades de energía y generan casi las tres cuartas partes de las emisiones carbónicas del planeta.

El C40 pone gran interés en incorporar mejoras energéticas a los viejos edificios. En Estados Unidos, la mayoría de las construcciones, ya sean casas, rascacielos o iglesias, datan de los años setenta. La sustitución de los tejados de alquitrán, de color negro, por otros de color blanco que reflejen la luz solar y mantengan temperaturas más frescas en verano, o la instalación de calentadores solares de agua, contribuirían a un ahorro energético notable: según el Departamento de Energía, un 17 por ciento de la energía consumida por los edificios estadounidenses se invierte en calentar el agua. El C40 se ha asociado con el Banco Mundial para garantizar la financiación de estos proyectos de rehabilitación, además de otras medidas climáticas de ámbito urbano.

Las ciudades actuales también podrían aplicar sistemas de transporte concebidos en un principio para las urbes ecológicas del futuro. En EE.UU., los tubos de escape de los coches lanzan a la atmósfera 1700 millones de toneladas de dióxido de carbono al año, junto con muchos otros gases nocivos. Por el contrario, los vehículos eléctricos propuestos para la ciudad japonesa de Fujisawa no emitirán gas alguno. El transporte eléctrico requiere, sin embargo, una infraestructura que ante todo garantice la recarga del vehículo. Una empresa de Tokio, Better Place, ensayó con éxito un sistema de coches eléctricos propulsados por baterías: una vez agotadas, estas se reemplazaban con facilidad y rapidez por otras ya recargadas en estaciones de repostaje especiales. A corto plazo, algunos cambios sencillos, como la conversión de diésel a gas natural comprimido en los autobuses urbanos, reducirían la contaminación atmosférica y a la vez mejorarían el rendimiento energético. Gracias a estas medidas, Denver ha conseguido ahorrar más de 90 millones de litros de gasolina entre 2005 y 2009.

Además de conservar la energía y limitar las emisiones nocivas, las urbes deben diversificar el suministro energético. La ciudad de Nueva York ha ordenado hace poco la sustitución del gasóleo de calefacción por combustibles más ligeros, como el gas natural, que contaminan menos el aire. Pero incluso ese tipo de decisiones en apariencia sencillas pueden imponer compromisos difíciles. David Bragdon, director de la Oficina de Planificación y Sostenibilidad a largo plazo de Nueva York, señala que la ciudad lucha por reconciliar el uso del gas natural con el deseo de evitar la fracturación hidráulica de su cuenca (proceso de extracción de gas natural del subsuelo), ya que esta técnica podría contaminar el suministro de agua.

AGUAS Y RESIDUOS

La comunidad internacional se enfrenta a otro temible reto: garantizar el suministro de agua dulce a poblaciones urbanas en continuo crecimiento. Extensas zonas del planeta se acercan ya a los límites de sus reservas de agua. En las ciudades del oeste de EE.UU., desde Denver hasta Phoenix, el gasto de agua supera el caudal normal del río Colorado. Y el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias estima que, hacia 2050, cerca de la mitad de la producción mundial de cereales se verá amenazada por la escasez de agua. Con vistas a mejorar el consumo urbano, el C40 ha elaborado una lista de prácticas recomendables basadas en las estrategias que han seguido una serie de ciudades, entre ellas Austin (Texas) y Tokio. Austin inició en 1983 su programa de ahorro de agua en respuesta a un auge residencial y comercial. Ofrece distintos incentivos para frenar el consumo, entre otros, un descuento en la instalación de sistemas de captura de agua de lluvia o de inodoros de alta eficiencia. Tokio, mientras tanto, es líder mundial en la detección y control de fugas en conducciones de agua, distinción que se ha ganado a través de una revisión, reparación y sustitución sistemáticas de las tuberías, y de la corrección de las fugas el mismo día en que se descubren.

Por su parte, el proyecto urbano de Masdar, en los Emiratos Árabes Unidos (que no pertenece al C40), adopta un enfoque de tipo Gran Hermano para evitar despilfarros. Las duchas se cierran automáticamente al cabo de unos minutos, y tanto el gasto de agua como el consumo de energía de cada residente están bajo la vigilancia de una red informatizada inteligente que permite intervenir al proveedor si los usuarios derrochan.

El agua, además, tiene que estar limpia. Para la mayoría de las ciudades ello significa no solo man-



tener su estado actual, sino mejorarlo radicalmente. Según las Naciones Unidas, casi un tercio de los residentes urbanos habita en arrabales míseros que carecen de acceso al agua potable y a los servicios sanitarios, y por tanto son vulnerables al cólera y otras enfermedades transmitidas por las aguas.

Pero la deficiente gestión de los residuos afecta a otros aspectos, además de la calidad del agua. La ciudad de Nueva York ha cerrado sus vertederos en Brooklyn y Staten Island, y ahora se gasta hasta 100 dólares por tonelada en trasladar los residuos a cientos de kilómetros de distancia. Ni siquiera el reciclaje representa una panacea: Roy Buol, alcalde de Dubuque (Iowa), tuvo que suspender su programa de reciclaje de vidrio, porque transportar en camiones el material hasta plantas de tratamiento lejanas conllevaba más emisiones de gases de efecto invernadero que arrojarlo a un vertedero. Mejor que desechar los residuos o reciclarlos sería, sin duda, transformarlos en algo útil. Así se procede en un parque industrial de las afueras de Rizhao (China), donde la compañía bioquímica Luxin Jinhe produce ácido cítrico para refrescos a partir de mandioca, maíz y boniato. Los residuos del proceso afluyen a unos depósitos llamados biodigestores. Allí, por acción microbiana, se convierten en alimentos sólidos para el ganado y en metano combustible para usos industriales, como la generación de electricidad. De hecho, la captura de metano en los vertederos representa uno de los procesos más económicos para reducir las emisiones de gases al tiempo que se obtiene un nuevo recurso «natural».

SOLUCIONES FÁCILES

Sin duda alguna, las urbes actuales necesitarán aplicar técnicas avanzadas para alcanzar sus objetivos de sostenibilidad a largo plazo. Pero también desempeñarán una función importante los escarceos políticos y algunas estrategias sencillas. Se podrían cambiar así las normas de construcción para exigir una mayor eficiencia energética, lo que se conseguiría con una mejora de los aislamientos. Por supuesto, la batalla real para hacer más sostenible una ciudad como Nueva York se puede ganar con la ayuda de los responsables de mantenimiento del millón aproximado de edificios de la metrópoli. De ahí que el Departamento de Energía haya establecido el programa Green Supers («superecológicos»), que capacita en operaciones ecológicas a los técnicos de mantenimiento, cuya primera promoción se ha graduado hace poco. El supervisor Victor Nazario reconocía ante sus compañeros de curso el error de haber considerado muy costosas esas técnicas; había descubierto que solo es cuestión de tiempo, dedicación y puesta en práctica.

Esos conceptos se van extendiendo cada vez más gracias a organizaciones que agrupan ciudades importantes para compartir planes viables, entre ellas el C40 y la ICLEI (Asociación Internacional de Gobiernos Locales para la Sostenibilidad). Y cuando las ciudades actúan, los gobiernos nacionales toman nota. Siguiendo el ejemplo de las 259 ciudades chinas que se esfuerzan por rebajar sus emisiones carbónicas, el Ministerio Chino de Alojamiento y Desarrollo Rural-Urbano está estudiando planes para fomentar el empleo de materiales de construcción de mayor eficiencia energética y durabilidad. Con ello se potenciaría notablemente el carácter sostenible de las grandes urbes de ese país.

Las ciudades son una expresión de nuestra voluntad colectiva, una poderosa combinación de economía y medioambiente, ideas particulares y sueños públicos. Las estrategias que optimicen el suministro de energía, alimentos y agua, así como el transporte y el tratamiento de residuos, resultarán esenciales para ofrecer un futuro más próspero a la humanidad. En las ecociudades muy a menudo se pone la estética por delante de las necesidades reales de la población. Pero no hay que olvidar que son las personas quienes, en último término, hacen sostenible una ciudad.

Un sueño ecológico: Idealización artística de Dongtan, una ciudad sostenible que China ha proyectado pero no ha llegado a construir.

CORTESÍA DE ARUP

PARA SABER MÁS

Eco-cities of the future. David Biello en *Scientific American Earth 3.0*, págs. 68-73; septiembre 2008.

C40 Cities: **www.c40cities.org**

Urban visions: The future of cities: **ScientificAmerican.com/report.cfm?id=future-cities**



CIUDADES

Ecología urbana

Considerar una ciudad como un ecosistema ayuda a entender su funcionamiento y resulta esencial para diseñar estrategias de futuro y vigilar su desarrollo

Jaume Terradas, Teresa Franquesa, Margarita Parés y Lydia Chaparro

La urbanización constituye uno de los procesos más rápidos y de mayor importancia del cambio global que el hombre promueve sobre la faz del planeta. Entender este proceso es una necesidad imperativa para tratar de conducirlo de un modo razonable. La ecología permite estudiar las ciudades como un tipo particular de ecosistema y analizar su metabolismo (los flujos de materia y energía), una información relevante que permite entender, y tal vez corregir, las consecuencias de la expansión urbana.

La aproximación funcional al ecosistema urbano se completa teniendo en cuenta no solo las consecuencias negativas de la interacción entre la población y el medio natural o seminatural, sino también los efectos que la naturaleza ejerce sobre la vida de las personas, algunos de ellos beneficiosos (y entonces se les denomina servicios). Los servicios de la naturaleza se pueden cuantificar de diferentes maneras: la cantidad de contaminantes retirados por la vegetación, los costes derivados de la pérdida de esos servicios o el ahorro que supondría una gestión mejorada entre otros.

En el presente artículo se trata la ciudad desde la perspectiva de la ecología urbana tomando Barcelona como caso de estudio. Se abordan los aspectos principales de su estructura y de su metabolismo y, en especial, la aportación del verde urbano a la regulación del metabolismo y a la calidad de vida.



EN SÍNTESIS

La ecología aporta al estudio del fenómeno urbano un punto de vista metabólico que permite conocer los flujos de energía y materiales en la ciudad. Esa perspectiva está siendo introducida cada vez más en las estrategias de gestión de las administraciones locales.

Aunque se ha demostrado la escasa contribución de las zonas verdes en el metabolismo de la ciudad, se ha destacado su importante función en el microclima local y en el paisaje urbano.





Jaume Terradas es catedrático emérito de ecología de la Universidad Autónoma de Barcelona. Fue el promotor y primer director del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales.

Teresa Franquesa es doctora en biología y jefe del Departamento de Estrategia del Área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Barcelona.

Margarita Parés es bióloga y desde 1986 trabaja en el Ayuntamiento de Barcelona como especialista en ecología urbana y medioambiente.

Lydia Chaparro es bióloga y ha realizado distintos estudios sobre ecología urbana de Barcelona. Actualmente trabaja en Ecologistas en Acción.



A pesar de su escasa contribución al metabolismo global de la ciudad, las zonas verdes regulan el microclima local y mejoran la calidad de vida de los habitantes. En la imagen, avenida de las Atarazanas en Barcelona.

LYDIA CHAPARRO

CRECIMIENTO DESMESURADO

En la mayor parte del mundo, las ciudades crecen de forma vertiginosa. Se trata de un crecimiento demográfico y, a la vez, de una expansión territorial. Ello no solo responde a la evolución de la población mundial (desde 1500 millones de personas a principios del siglo XX se pasó a más de 7000 millones en un siglo, con previsiones de alcanzar los 9000 millones dentro de unos diez años), sino también a su tendencia a ubicarse cada vez más en núcleos urbanos. Las cifras son espectaculares. Mientras que en los países más ricos la población de las ciudades representa el 80 % desde hace tiempo, en muchos países en desarrollo (como en América Latina) han bastado cincuenta años para que la población urbana ascendiera del 20 o 30 % a ese mismo 80 %. Hoy se concentra en las ciudades el 60 % de la humanidad, y en 2050 se espera que lo haga el 76 %. Con respecto a la población mundial, la urbana consume ya las dos terceras partes de la energía y emite el 70 % del CO_2.

Con un ritmo de crecimiento de un millón de personas cada semana en las ciudades, no es difícil imaginar que las alteraciones globales de origen autrópico tengan mucho que ver con el funcionamiento urbano. Los problemas de sanidad, transporte, suministros o integración social se multiplican a un ritmo que las administraciones no pueden controlar. En estas condiciones, aumenta también la vulnerabilidad de las poblaciones, ya sea a epidemias, episodios climáticos extremos, catástrofes naturales, hambre, delincuencia, terrorismo u otros.

La pauta de expansión urbana conlleva una problemática peculiar. Las ciudades no suelen crecer en sectores concéntricos sucesivos. Lo hacen, en general, a lo largo de ejes de transporte, a partir de núcleos pequeños disgregados sobre el territorio que se van extendiendo. Este proceso supone una enorme fragmentación de los sistemas naturales o seminaturales y un deterioro de su potencial para prestar servicios ecológicos y mantener la biodiversidad. El ecólogo Ramón Margalef manifestó una gran preocupación por lo que denominó la «inversión topológica del paisaje». Según él, el paisaje, compuesto de una matriz natural, zonas agrícolas y pequeñas zonas urbanas, se está convirtiendo en una matriz predominantemente urbana (ciudades y vías de comunicación), con zonas agrícolas decrecientes y zonas naturales o seminaturales cada vez más aisladas.

El dinamismo de las ciudades y su impacto en el medio global hacen urgente aumentar nuestro conocimiento del sistema urbano.

EL ESTUDIO DE LOS ECOSISTEMAS URBANOS

En el presente artículo entendemos la ecología de la ciudad como el estudio de los ecosistemas urbanos, sin ocuparnos de la ecología de organismos particulares que tienen su hábitat en un entorno urbano. Ambas acepciones se usan entre los ecólogos, y son igualmente lícitas, pero abarcan temas claramente distintos. Nos centraremos, pues, en el marco de la primera acepción.

El hecho de que la ciudad constituye un ecosistema no se reconoció hasta los años setenta del siglo pasado. Los primeros trabajos publicados fueron los de P. Duvigneaud y S. Denaeyer-De Smet sobre diversos aspectos del funcionamiento urbano de la aglomeración de Bruselas, a partir de 1974, y en buena parte dentro de los proyectos relacionados con el Programa Biológico Internacional. Ese mismo año se inició también el Programa sobre ecología de Hong Kong, encabezado por Stephen Boyden y financiado primero por la Fundación

Nuffield y luego por el Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB), de la UNESCO, y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1981, Boyden y otros publicaron un libro sobre Hong Kong que ha sido durante años la referencia más importante sobre el tema. Hong Kong ofrecía muchas ventajas para el estudio de entradas y salidas de materia y energía, porque entonces era una isla, una ciudad y un estado independiente. Los autores introdujeron un punto de vista sociológico, en un intento por fundar una nueva disciplina, el estudio socioecológico de los ecosistemas urbanos.

El programa MAB continuó su apuesta por la ecología urbana mediante la financiación de trabajos en Roma, Barcelona y otros lugares. En 1997, el Programa sobre investigación ecológica a largo plazo de la Fundación Nacional para la Ciencia de EE.UU. creó proyectos para el estudio del ecosistema urbano en Baltimore y Phoenix. Steward Pickett, del Instituto Cary de Estudios del Ecosistema (Nueva York), ha liderado los de Baltimore, donde planteó tres cuestiones básicas: los flujos de materia y energía en el ecosistema metropolitano, el efecto de la estructura espacial de la ciudad sobre los procesos ecológicos y el papel de la ciudadanía en la mejora de la calidad ambiental y de su propio bienestar. Creemos que estas cuestiones definen bastante bien la aproximación ecológica a los ecosistemas urbanos.

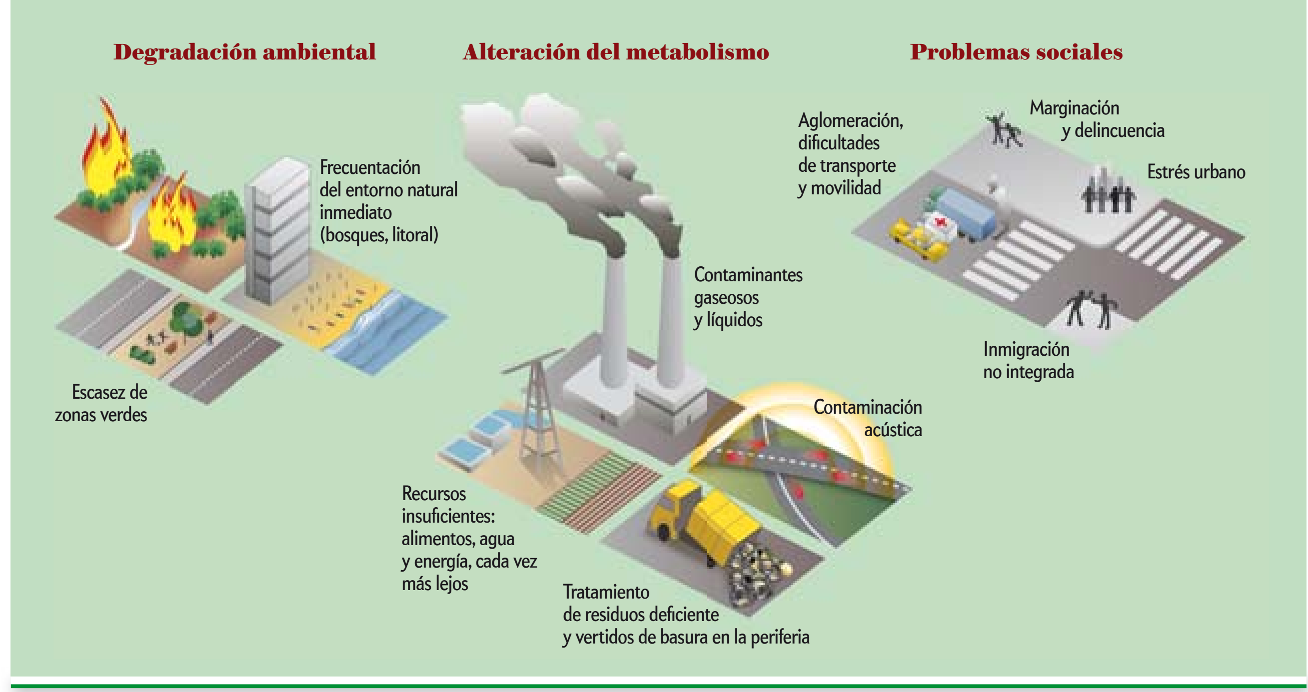
El Servicio Forestal de los EE.UU. ha desarrollado algunos modelos (UFORE, i-TREE) que permiten un cálculo sencillo de muchos de los servicios prestados por las áreas verdes de las zonas urbanas. Estos métodos se han aplicado en distintas ciudades, la mayoría de ellas estadounidenses, pero también en otras, entre las que se cuenta Barcelona.

Sin embargo, los ecosistemas urbanos plantean todavía numerosos retos teóricos y prácticos. Los ecosistemas naturales presentan una enorme complejidad, pero los urbanos poseen un grado de heterogeneidad aún superior. Muchos aspectos de su funcionamiento están relacionados con actividades y decisiones de orden económico, político, social o cultural. Ello significa que no se puede avanzar en el conocimiento de la ecología de una ciudad sin realizar una aproximación multidisciplinar. La ausencia de este enfoque ha contribuido en gran parte al lento progreso del estudio de los ecosistemas urbanos. Sin duda, se requieren nuevas instituciones para hacer frente a estas dificultades.

Nuestros estudios sobre el ecosistema urbano de Barcelona se iniciaron a finales de los setenta del siglo xx, tras un contacto con Duvigneaud, y

Problemas asociados al crecimiento desordenado

Casi todas las ciudades crecen. La mayoría de ellas pertenecen a países en vías de desarrollo. Barrios inmensos mal urbanizados se agregan continuamente en la periferia. Este crecimiento desordenado genera a las urbes problemas ambientales, metabólicos y sociales. Se produce una degradación del medio debida a la escasez de zonas verdes y a la frecuentación de las zonas naturales adyacentes a la ciudad (incendios forestales, contaminación del litoral). Se altera el metabolismo de la ciudad por contaminación acústica, atmosférica, mala gestión de los residuos y escasez de recursos. Y los problemas sociales (estrés urbano, marginación y aglomeraciones, entre otros) se multiplican a un ritmo descontrolado.



se vieron estimulados en 1980 por una pequeña ayuda del programa MAB. Hemos analizado los siguientes aspectos: la estructura urbana mediante una aproximación cartográfica; el metabolismo urbano, con una cuantificación de los flujos de materia y energía; la biodiversidad urbana; la accesibilidad de la población a los servicios, y el papel de las zonas verdes.

Aunque algunos ecólogos nos hemos visto en ocasiones implicados en proyectos urbanísticos, aún nos resulta difícil transmitir la idea básica de que los establecimientos urbanos y las infraestructuras sociales han de respetar el funcionamiento ecológico de lo que tan acertadamente algunos vienen denominando «infraestructuras naturales». En Barcelona, la administración municipal ha incorporado la idea de metabolismo urbano y plantea sus estrategias de futuro teniendo en cuenta esta perspectiva. El metabolismo y sus efectos tienen mucho que ver con la estructura urbana y con las condiciones del medio físico, peculiares de cada ciudad, por lo que a continuación nos ocuparemos de estos aspectos.

LA ESTRUCTURA URBANA Y EL MEDIO FÍSICO

El territorio municipal de Barcelona abarca 101 km². La población estable ha fluctuado en las últimas décadas entre 1,5 y casi 1,7 millones de personas (1.630.494 en 2010), a los que hay que añadir un número creciente de pernoctaciones turísticas (7,1 millones en 2010, frente a 1,7 en 1990). La ciudad constituye el núcleo principal de un área metropolitana mayor, fuertemente urbanizada, que abarca 36 municipios, una extensión de 636 km² y una población de 3,2 millones de habitantes.

La estructura del municipio se ha representado mediante el mapa ecológico, cuyas actualizaciones sucesivas dan cuenta de los cambios en los usos de suelo, de un dinamismo notable. El último mapa ecológico fue el elaborado en 2004 por J. A. Burriel del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (Barcelona) y sus colaboradores.

El núcleo central de la ciudad, poco diverso en paisaje, corresponde al barrio del Ensanche. Fue proyectado por Ildefonso Cerdà a mediados del siglo XIX, aunque muy modificado en su realización posterior, sobre todo por la reducción o aniquilación de los espacios verdes que el urbanista había previsto en cada una de las manzanas octogonales (recientemente, se han recuperado 44 interiores de manzana, unos 93.000 m²). El Ensanche unió la ciudad medieval con núcleos vecinos (Sants, Gracia, San Adrián, Sarriá) y con zonas de relieve más marcado (Collserola, Montjuic, el Carmelo). El predominio de lo construido en el Ensanche queda en cierta medida paliado por la abundancia del arbolado viario, muy notable.

La comparación de los mapas ecológicos realizados en 1977 y 2004 ha permitido identificar un aumento de las zonas densamente urbanizadas o de uso intenso (593 hectáreas) y una disminución de los cultivos (227 ha), hoy testimoniales, de los solares sin edificar (483 ha) y de las zonas naturales sin vegetación. El «verde urbano» (parques y jardines, arbolado viario), que ocupa casi el 8 % del territorio municipal, ha experimentado el mayor aumento relativo (51 %, 258 ha). Por otro lado, el «verde natural» (bosques, matorrales), alcanza el 22 %, valor semejante al de Boston u Oakland.

El arbolado, incluido el viario, ha aumentado a costa del matorral y supone un 25,2 % del recubrimiento total. No obstante, si se excluye la zona periférica perteneciente al parque de Collserola y analizamos estrictamente la trama urbana, se pasa a un recubrimiento arbóreo del 15 %, más próximo al de ciudades compactas como San Francisco (12 %) o Chicago (11 %).

El parque de Collserola (1795 ha) ocupa casi el 18 % del territorio municipal. El resto de los espacios verdes (1079 ha), constituido principalmente por parques y jardines, se hallan más imbricados en la trama urbana. La distribución irregular de las zonas verdes determina una repartición desigual de sus servicios beneficiosos. Los estudios de accesibilidad a esas áreas y otros servicios indican que, en general, los barceloneses tienen acceso fácil a espacios libres, pero les resulta harto más difícil llegar a zonas naturales de cierta entidad.

Barcelona ofrece un ejemplo característico de frontera brusca con el medio natural o seminatural en la Sierra de Collserola. En la terminología ecológica, este tipo de fronteras han recibido el nombre de *limes divergens*; su forma rectilínea corresponde a un límite de alta tensión entre ambos lados. Ello implica una relación muy asimétrica y un fuerte impacto del sistema urbano sobre los vecinos. Por un lado, la frecuentación del me-



El río Besós constituye un límite físico que influye sobre la estructura urbana de Barcelona. La recuperación ambiental y la mejora progresiva de la calidad del agua realizadas desde los años noventa del siglo pasado ofrecen un espacio verde de grandes dimensiones a la ciudad.

TERESA FRANQUESA



El mapa ecológico de Barcelona constituye la mejor representación de la estructura urbana. Sus sucesivas actualizaciones dan cuenta de los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo. La imagen corresponde al mapa de 2000 (se indican solo algunos barrios de la ciudad).

J.A. BURRIEL, X. PONS Y J. TERRADAS. AYUNTAMIENTO DE BARCELONA, 2000.

dio natural por los barceloneses contribuye a la degradación de ese entorno; por otro, algunos animales se adentran en el medio urbano de modo sorprendente, como los jabalíes que buscan comida fácil en la basura. La situación de Collserola como gran parque central metropolitano, con estas fronteras tensas, tiene un gran interés y ofrece oportunidades de estudio con una repercusión potencial en la gestión.

La estructura densa de la ciudad condiciona el clima. El verano es cálido, con una elevada humedad atmosférica pero con escasas lluvias, por lo que la vegetación sufre un fuerte estrés hídrico. El invierno, aunque templado, presenta en ocasiones episodios fríos que provocan un segundo estrés en la vegetación. No hay vientos dominantes, y en situaciones anticiclónicas la dispersión de los contaminantes se reduce, lo que lleva a la aparición de la típica cúpula ligada a la inversión térmica. Ante esas condiciones, el efecto de isla de calor, propio de una ciudad compacta, resulta muy marcado en Barcelona, lo que supone un riesgo ante la amenaza de un aumento global de las temperaturas: los cálculos regionales prevén un aumento de las máximas estivales de entre 5 y 7 ºC hacia la segunda mitad del siglo XXI.

Por su posición litoral, Barcelona no constituye en sí misma una barrera para el desplazamiento de animales y plantas, aunque sí lo sea para su penetración en el ámbito urbano. Los mayores efectos de la ciudad sobre la biodiversidad se producen en territorios vecinos o alejados, como resultado de las actividades urbanas y la demanda de recursos de todo tipo. La ciudad conserva elementos interesantes de flora y fauna, pero es puerta de entrada de bastantes especies invasoras, como la cotorra de pecho gris (*Myopsitta monachus*). Por otro lado, se están realizando esfuerzos de mejora de la biodiversidad, no solo con la introducción de nuevas especies vegetales en los espacios verdes sino también a través de actuaciones puntuales (sistema de autodepuración del agua fluvial mediante la recuperación de las marismas en el río Besós, creación de hábitats artificiales sumergidos en el frente litoral, reintroducción del halcón peregrino, protección de zonas de nidificación, conservación de anfibios, etcétera).

El desarrollo urbano ha ocultado gran parte de la red hidrológica. La ciudad sigue estando limita-

da entre los ríos Besós y Llobregat, pero de la multitud de arroyos y torrentes existentes en el pasado a menudo solo quedan vestigios en la toponimia del callejero. Las aguas pluviales se canalizan a través del alcantarillado y suponen una quinta parte del suministro de agua de la ciudad. Para evitar los riesgos de inundación y los episodios de contaminación del litoral que ocasionaban las fuertes tormentas, se han construido nueve grandes depósitos subterráneos (hay otros tres en proyecto) que ayudan a regular los caudales. En las partes más próximas al mar, el alto nivel freático crea varios problemas, sobre todo filtraciones de agua hacia las galerías del metro e inundaciones de subterráneos. El coste energético de bombear parte de estos caudales y evitar daños resulta importante —aunque, por otro lado, las aguas bombeadas se reciclan para riego, lo que permite ahorrar agua potable—. Se supone que una subida del nivel del mar asociada al cambio climático agravará estos problemas. Aparte de moldear la estructura urbana, el agua representa uno de los elementos básicos del metabolismo de la ciudad.

Las **2,51** toneladas equivalentes de CO_2 emitidas por habitante y año en Barcelona contribuyen en gran medida al efecto invernadero que experimenta la ciudad.

EL METABOLISMO DE BARCELONA

El metabolismo consiste, esencialmente, en los flujos de entrada de energía y materiales al sistema, su uso y transformación en él y los flujos de salida. Los estudios sobre el metabolismo de Barcelona se realizaron entre 1980 y 1999. Hoy se cuenta con una considerable información sobre los flujos y *stocks* principales de energía, y algunos de los de materia. De modo interesante, esos datos sirven de referencia para conocer el papel que desempeñan los servicios ambientales de los espacios verdes urbanos. Por otra parte, durante esta última década el Ayuntamiento de Barcelona ha seguido la evolución de algunos de los parámetros más importantes del metabolismo urbano, que ha considerado como indicadores ambientales útiles para el desarrollo de la Agenda 21 y del Compromiso Ciudadano para la Sostenibilidad. Este tipo de actividades promovidas desde la administración y la sociedad civil han supuesto la incorporación de algunas ideas de la ecología urbana a la praxis de la gestión.

El suministro de agua de Barcelona procede en gran medida de los ríos Ter y Llobregat, aunque en los últimos años ha aumentado el empleo de agua subterránea o freática, que ya alcanza el 17 % del consumo público de la ciudad y llega al millón de metros cúbicos al año. De todos modos, Barcelona ha reducido el consumo doméstico a 110 litros por persona y día (un 21 % de disminución en 10 años), con un consumo total de 165 litros por persona y día, muy moderado frente a otras ciudades. Además, las aguas residuales se depuran en su totalidad.

El uso de materiales (cemento, vidrio, madera y acero, entre otros) por el ecosistema urbano barcelonés no ha sido cuantificado de forma global. Tampoco lo han sido los materiales empleados en la estructura urbana, que equivaldrían a la madera en un ecosistema forestal: componentes exosomáticos (de origen externo) con funciones de protección, soporte y conducción. Resulta evidente que las partes activas del ecosistema urbano (plantas, animales y personas) son pequeñas en relación a estas, lo mismo que ocurre en el bosque, donde las hojas constituyen una pequeña fracción de la biomasa total. Sabemos que la biomasa animal (incluida la humana) en el ecosistema barcelonés asciende a unas 100.000 toneladas y la vegetal, a unas 300.000.

Aparte de las entradas de agua canalizada, los únicos estudios disponibles sobre el empleo de materiales se refieren a las entradas de alimentos y a la producción de residuos. Esta última se situó en 840.553 toneladas en 2010, con 1,42 kilogramos por persona y día. En los últimos años se han experimentado cambios importantes relacionados con la recogida selectiva, el reciclaje y la reutilización. La recogida selectiva alcanza ya el 33 % (era el 8 % hace solo una década). Además de los residuos domésticos hay que tener en cuenta los residuos industriales que, en 1997, ascendían a un cuarto de millón de toneladas.

La energía recibida del sol en el territorio municipal se eleva a 470×10^6 gigajulios (GJ), de los que unos 70×10^6 son reflejados otra vez hacia el espacio. Las zonas verdes de Barcelona aprovechan solo el 0,004 % de la radiación incidente para realizar la fotosíntesis (de 0,5 a $2,5 \times 10^6$ GJ). El 70 % de la energía solar llega a superficies que no son fotosintéticamente activas. Parte de esta energía contribuye al efecto de isla de calor, que se intensifica en verano (las superficies construidas calentadas reemiten a su vez la energía hacia el entorno). Sin embargo, ese efecto resulta positivo en invierno, ya que conlleva un aumento de la luz reflejada y de la temperatura local. Otros focos de emisión de calor son el tráfico rodado, las estaciones de tren, los hospitales, los comercios y las centrales eléctricas.

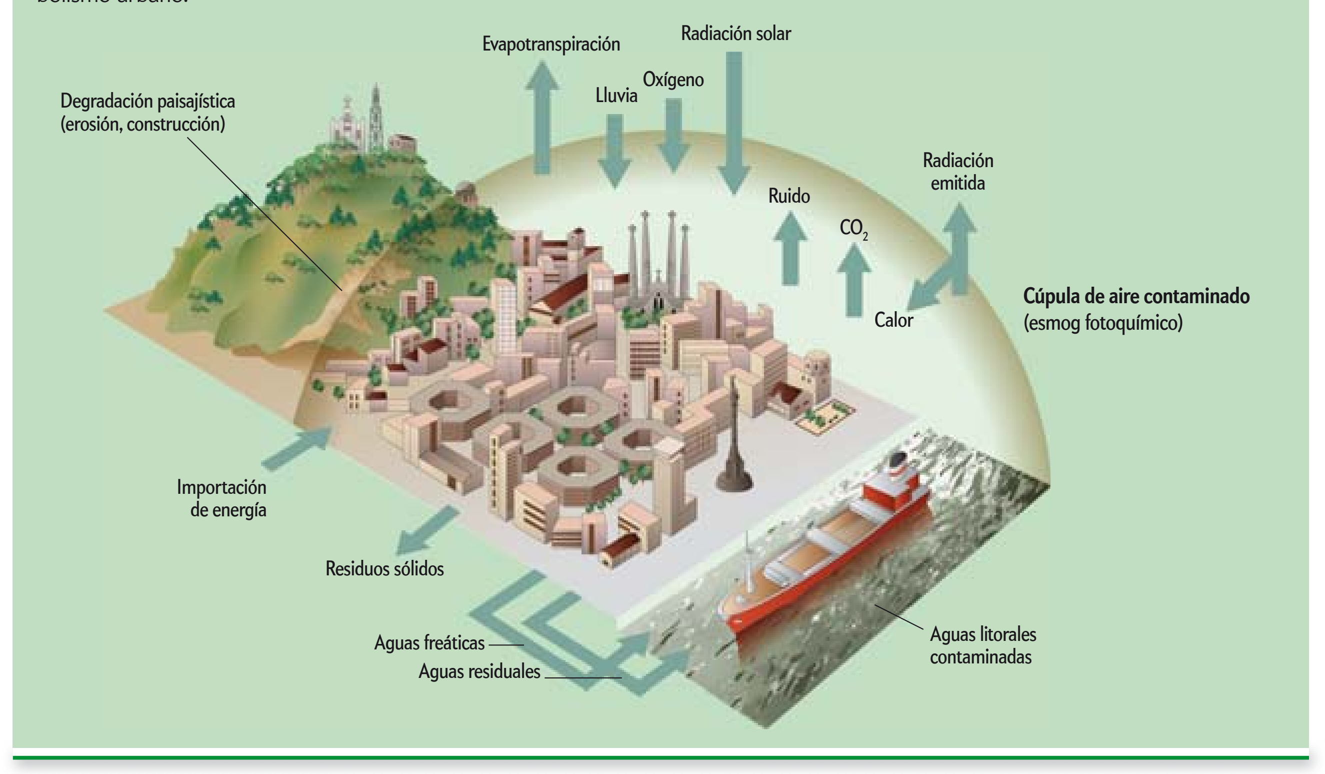
La energía de los alimentos para la población humana, heterótrofa, es unas 23 veces superior a la que se emplea en la fotosíntesis. El total de la energía endosomática en el ecosistema urbano (la que se genera en la propia ciudad) es la suma de la energía empleada en la fotosíntesis y la contenida en los alimentos consumidos. Como vemos, el papel de la vegetación en el metabolismo endosomático es bastante escaso. La ciudad es un ecosistema esencialmente heterotrófico.

Mucho mayores que los de la energía endosomática, pero menores que las de la radiación solar, son las cifras correspondientes a la energía exosomática (la que se genera de fuera de la ciudad). Gran parte de ella es importada desde lejos, desde centrales eléctricas, nucleares, térmicas o eólicas, o desde los aún más distantes yacimientos de gas natural o petróleo. Según una estimación de 2008, los flujos de entrada sumaron en total unos 111×10^6 GJ, mientras que el consumo energético global fue de unos 61×10^6 GJ (no se aprovecha toda la energía

El metabolismo urbano de Barcelona

Los estudios sobre el metabolismo de Barcelona se iniciaron hacia 1980. Hoy se tiene una considerable información sobre los flujos y *stocks* principales de energía y de algunos materiales. Como consecuencia del metabolismo urbano, se produce la degradación del paisaje, la exportación de residuos sólidos, la contaminación de las aguas litorales por residuos líquidos y la formación de una cúpula de aire contaminado sobre la ciudad.

El conocimiento de los procesos ecológicos resulta útil para la gestión sostenible de la ciudad, en especial por lo que respecta a los flujos de energía y agua y a la producción de residuos. Al mismo tiempo, permite valorar la influencia de las zonas verdes en el metabolismo urbano.



entrante debido a las pérdidas y al consumo propio del sector). A pesar de la tendencia ascendente en los últimos años, ha habido cierta mejora en la eficiencia energética, es decir, el consumo de energía en relación al PIB.

Solo un 0,59 % (en 2008) del consumo eléctrico total se obtiene de fuentes renovables. La superficie de captación de energía termosolar es de 42 m^2/mil habitantes, valor parecido a los de otras ciudades europeas y superior a la media española, pero todavía bajo.

El consumo de energía tiene como consecuencia la emisión de calor y de gases y partículas contaminantes, entre ellos, vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), clorofluoro-carbonados (CFC), compuestos orgánicos volátiles (COV, que se añaden a los que emiten las plantas), óxido nitroso (N_2O), amoníaco (NH_3), plomo y otros metales, y partículas sólidas en suspensión. Los gases COV y NO_x son precursores del ozono troposférico, causante del esmog fotoquímico (aunque con el movimiento de las masas de aire la mayor parte del ozono (O_3) de la zona de Barcelona se traslada a otras regiones).

Las emisiones de CO_2 y otros gases (entre ellos, CH_4, COV, NO_x) contribuyen en gran medida al efecto invernadero en la ciudad. La cantidad total de esos gases asciende 2,51 toneladas equivalentes de CO_2 por habitante y año (de las que 0,8 se deben al transporte). No obstante, la calidad del aire en lo referente a SO_x, partículas en suspensión y plomo ha mejorado en las dos últimas décadas gracias a las nuevas normas sobre la calidad de la gasolina y a la eliminación de fábricas en la ciudad. Ello no impide que en Barcelona se den con frecuencia valores superiores a los admitidos por la UE de dióxido de nitrógeno (NO_2) (con una media anual de unos 50 microgramos por metro cúbico, o $\mu g/m^3$, cuando el valor máximo tolerado es 42) y O_3 (aunque hace años que no se supera el umbral horario de alarma a la población, de 180 $\mu g/m^3$). Los niveles de dióxido de azufre (SO_2), de 2 a 3 $\mu g/m^3$, son muy inferiores a los permitidos. El valor máximo de emisión de partículas de entre 2,5 y 10 µg (PM_{10}), de 50 $\mu g/m^3$, no se superó en ninguna de las estaciones de medida en 2010 (por primera vez desde 2002, cuando se iniciaron las mediciones), y la tendencia es descendente. También lo es en el caso del plomo y de metales pesados (arsénico, cad-

Cantidad de distintos contaminantes retirados por las zonas verdes de Barcelona (*azul*) y valor económico asociado a la reducción de cada contaminante (*naranja*).

mio, níquel), muy por debajo del valor límite anual en todas las estaciones.

Por último, el ruido, un tipo especial de contaminación, representa un problema grave. La mayoría de los barceloneses están expuestos a un nivel superior al que la OMS recomienda (55 decibelios A de día y 45 de noche).

Ante estas cifras, la cuestión que nos hemos planteado en nuestros trabajos más recientes es determinar el significado de las áreas verdes en el funcionamiento del ecosistema urbano barcelonés. De ello nos ocupamos en el siguiente y último apartado.

SERVICIOS ECOLÓGICOS DEL VERDE URBANO

De acuerdo con los datos ofrecidos sobre la estructura urbana, alrededor del 30 % del término municipal está cubierto por espacios verdes naturales, parques, jardines y otros tipos de sistemas dominados por la vegetación. El 25 % está arbolado, con un total de unos 1.420.000 árboles. Estos valores hay que situarlos en un contexto apropiado: la mayor parte del verde natural se halla, como hemos dicho, en posición periférica.

Los cálculos del modelo UFORE indican que la vegetación contribuye a retirar de Barcelona un total de 305,6 toneladas de contaminantes al año (54,6 son de NO_2, 72,6 de O_3, 166 de partículas sólidas, 6,8 de SO_2 y 5,6 de CO, entre otros). Se trata, por tanto, de cifras poco significativas en relación con las emisiones mencionadas antes. De hecho, son menores que las medidas en Baltimore (430 t/año) o Washington (540 t/año), ciudades con un número de árboles por hectárea parecido al de Barcelona pero con medias de tamaño de árboles superiores. La tasa de descontaminación anual de Barcelona (9,35 g/m^2 de cubierta vegetal) es, de todos modos, comparable a las de Brooklyn (10,2), Chicago (8,9) o Atlanta (10,6). El valor asociado a esta descontaminación superaría los 1,1 millones de euros, una cifra que no se puede considerar muy alta. Por otra parte, la vegetación emite unas 184 toneladas al año de COV, 32 de CO y 304 de O_3. Podemos concluir que, en el balance global de intercambios de gases, la participación del verde urbano en el metabolismo del ecosistema barcelonés es muy modesta.

La función que hoy se defiende más de la vegetación urbana es la asimilación de CO_2. Los árboles de Barcelona fijaron en 2008 unas 115.000 toneladas de CO_2, a las que hay que restar las emisiones del gas por la respiración de las plantas. Así, el valor neto es de solo 5422 toneladas de CO_2 retiradas, cifras semejantes a las halladas en Boston o Syracuse. El arbolado viario ejerció una función destacable, ya que las áreas densamente urbanizadas secuestraron hasta el 24 % del total del gas.

En cualquier caso, ante estos datos, es preciso admitir de nuevo la exigua contribución de la vegetación urbana en reducir la concentración de CO_2. Su papel mitigador de la contaminación sonora también resulta limitado, excepto en las zonas centrales de los parques más grandes y en el bosque periférico de Collserola. Por otro lado, las posibilidades de expansión de las zonas verdes son escasas, a menos que se realicen esfuerzos para aumentar las cubiertas verdes en edificios y patios interiores, el enverdecimiento de fachadas y la creación de muros verdes.

A pesar de los datos poco alentadores en el conjunto de la ciudad, los efectos beneficiosos de la vegetación a nivel local son importantes. Los árboles alteran el microclima urbano de modo puntual. En verano reducen las temperaturas como consecuencia de la evapotranspiración y del efecto de sombreado, lo que ayuda a reducir el consumo energético en los edificios y a mejorar la calidad de vida. De todos modos, los servicios más relevantes que ofrecen las zonas verdes a nivel global son los usos recreativos y los valores estéticos, sociales o relacionados con la salud física y psíquica.

A partir de los conocimientos actuales, recomendamos que las actuaciones se orienten a lograr un aumento de la calidad y cantidad de los servicios del verde urbano y una disminución de la vulnerabilidad de estas zonas ante el cambio climático. Las cubiertas y fachadas verdes reducirían los costes energéticos de los edificios de un modo notable. Creemos que las ciudades han de ser más verdes y, al mismo tiempo, compactas, complejas, variadas en su estructura fina y permeables a distintas especies de flora y fauna. Deben presentar un metabolismo que ahorre energía, recupere, recicle y reutilice los residuos, y aplicar un sistema de ahorro y recuperación de agua. Las construcciones han de evolucionar no solo hacia un mejor balance energético sino hacia la incorporación de nuevos materiales, incluidos los biológicos. Y resulta indispensable el diseño de una estrategia de futuro ante el cambio climático, algo que algunas ciudades como Londres o Chicago están trabajando hace años y que en Barcelona también se empieza a hacer sobre las premisas del conocimiento del metabolismo urbano.

PARA SABER MÁS

The ecology of a city and its people. The case of Hong Kong. S. Boyden, Millar, K. Newcombe y B. O'Neill. Australian National University Press; Londres y Miami, 1981.

Ecologia d'una ciutat (textos en catalán, castellano e inglés). H. Barracó, M. Parés, A. Prat y J. Terradas. Ayuntamiento de Barcelona (1985-1999); 1999.

Mapa Ecològic de Barcelona. J. A. Burriel, X. Pons y J. Terradas. Ayuntamiento de Barcelona, 2000.

Indicadors 21. Indicadors locals de sostenibilitat a Barcelona (2009). Ayuntamiento de Barcelona, 2011.

Serveis Ecològics del Verd Urbà. L. Chaparro y J. Terradas. Informe no publicado. CREAF y Ayuntamiento de Barcelona, 2010. Puede consultarse en inglés en **www.itreetools.org/resources/reports/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf**

CATÁLOGO DE PRODUCTOS

PROMOCIONES

5 EJEMPLARES AL PRECIO DE 4

Ahorre un 20 %

5 ejemplares de *MENTE Y CEREBRO* o *TEMAS* por el precio de 4 = 26,00 €

SELECCIONES TEMAS

Ahorre más del 30 %

Ponemos a su disposición grupos de 3 títulos de *TEMAS* seleccionados por materia.

3 ejemplares al precio de 2 = 13,00 €

1. ASTRONOMÍA
Planetas, Estrellas y galaxias, Presente y futuro del cosmos
2. BIOLOGÍA
El origen de la vida, Virus y bacterias, Los recursos de las plantas
3. COMPUTACION
Máquinas de cómputo, Semiconductores y superconductores, La información
4. FÍSICA
Fronteras de la física, Universo cuántico, Fenómenos cuánticos
5. CIENCIAS DE LA TIERRA
Volcanes, La superficie terrestre, Riesgos naturales
6. GRANDES CIENTÍFICOS
Einstein, Newton, Darwin
7. MEDICINA
El corazón, Epidemias, Defensas del organismo
8. CIENCIAS AMBIENTALES
Cambio climático, Biodiversidad, El clima
9. NEUROCIENCIAS
Inteligencia viva, Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente, El cerebro, hoy
10. LUZ Y TÉCNICA
La ciencia de la luz, A través del microscopio, Física y aplicaciones del láser

BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN (BSA)

Ahorre más del 60 %

Los 7 títulos indicados de esta colección por 75 €

- Tamaño y vida
- Partículas subatómicas
- Construcción del universo
- La diversidad humana
- El sistema solar
- Matemáticas y formas óptimas
- La célula viva (2 tomos)

Las ofertas son válidas hasta agotar existencias.

MENTE y CEREBRO

Precio por ejemplar: 6,50€

MyC 1: Conciencia y libre albedrío
MyC 2: Inteligencia y creatividad
MyC 3: Placer y amor
MyC 4: Esquizofrenia
MyC 5: Pensamiento y lenguaje
MyC 6: Origen del dolor
MyC 7: Varón o mujer: cuestión de simetría
MyC 8: Paradoja del samaritano
MyC 9: Niños hiperactivos
MyC 10: El efecto placebo
MyC 11: Creatividad
MyC 12: Neurología de la religión
MyC 13: Emociones musicales
MyC 14: Memoria autobiográfica
MyC 15: Aprendizaje con medios virtuales
MyC 16: Inteligencia emocional
MyC 17: Cuidados paliativos
MyC 18: Freud
MyC 19: Lenguaje corporal
MyC 20: Aprender a hablar
MyC 21: Pubertad
MyC 22: Las raíces de la violencia
MyC 23: El descubrimiento del otro
MyC 24: Psicología e inmigración
MyC 25: Pensamiento mágico
MyC 26: El cerebro adolescente
MyC 27: Psicograma del terror
MyC 28: Sibaritismo inteligente
MyC 29: Cerebro senescente
MyC 30: Toma de decisiones
MyC 31: Psicología de la gestación
MyC 32: Neuroética
MyC 33: Inapetencia sexual
MyC 34: Las emociones
MyC 35: La verdad sobre la mentira
MyC 36: Psicología de la risa
MyC 37: Alucinaciones
MyC 38: Neuroeconomía
MyC 39: Psicología del éxito
MyC 40: El poder de la cultura
MyC 41: Dormir para aprender
MyC 42: Marcapasos cerebrales
MyC 43: Deconstrucción de la memoria
MyC 44: Luces y sombras de la neurodidáctica
MyC 45: Biología de la religión
MyC 46: ¡A jugar!
MyC 47: Neurobiología de la lectura
MyC 48: Redes sociales
MyC 49: Presiones extremas
MyC 50: Trabajo y felicidad

BIBLIOTECA SCIENTIFIC AMERICAN

Edición en rústica

N.º ISBN	TITULO	P.V.P.
012-3	El sistema solar	12 €
016-6	Tamaño y vida	14 €
025-5	La célula viva	32 €
038-7	Matemática y formas óptimas	21 €

Edición en tela

N.º ISBN	TITULO	P.V.P.
004-2	La diversidad humana	24 €
013-1	El sistema solar	24 €
015-8	Partículas subatómicas	24 €
017-4	Tamaño y vida	24 €
027-1	La célula viva (2 tomos)	48 €
031-X	Construcción del universo	24 €
039-5	Matemática y formas óptimas	24 €
046-8	Planeta azul, planeta verde	24 €
054-9	El legado de Einstein	24 €

TEMAS de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Precio por ejemplar: 6,50€

T-4: Máquinas de cómputo
T-6: La ciencia de la luz
T-7: La vida de las estrellas
T-8: Volcanes
T-9: Núcleos atómicos y radiactividad
T-12: La atmósfera
T-13: Presente y futuro de los transportes
T-14: Los recursos de las plantas
T-15: Sistemas solares
T-16: Calor y movimiento
T-17: Inteligencia viva
T-18: Epidemias
T-20: La superficie terrestre
T-21: Acústica musical
T-22: Trastornos mentales
T-23: Ideas del infinito
T-24: Agua
T-25: Las defensas del organismo
T-26: El clima
T-27: El color
T-29: A través del microscopio
T-30: Dinosaurios
T-31: Fenómenos cuánticos
T-32: La conducta de los primates
T-33: Presente y futuro del cosmos
T-34: Semiconductores y superconductores
T-35: Biodiversidad
T-36: La información
T-37: Civilizaciones antiguas
T-38: Nueva genética
T-39: Los cinco sentidos
T-40: Einstein
T-41: Ciencia medieval
T-42: El corazón
T-43: Fronteras de la física
T-44: Evolución humana
T-45: Cambio climático
T-46: Memoria y aprendizaje
T-47: Estrellas y galaxias
T-48: Virus y bacterias
T-49: Desarrollo del cerebro, desarrollo de la mente
T-50: Newton
T-52: El origen de la vida
T-53: Planetas
T-54: Darwin
T-55: Riesgos naturales
T-56: Instinto sexual
T-57: El cerebro, hoy
T-58: Galileo y su legado
T-59: ¿Qué es un gen?
T-60: Física y aplicaciones del láser
T-61: Conservación de la biodiversidad
T-62: Alzheimer
T-63: Universo cuántico
T-64: Lavoisier, la revolución química
T-65: Biología marina

TAPAS DE ENCUADERNACIÓN DE *INVESTIGACIÓN Y CIENCIA*

ANUAL (2 tomos) = 7,00€



Si las tapas solicitadas, de años anteriores, se encontrasen agotadas remitiríamos, en su lugar, otras sin la impresión del año.

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Ejemplares atrasados de *Investigación y Ciencia*: 6,00€





GASTOS DE ENVÍO

(Añadir al importe del pedido)

Por cada tramo o fracción de 5 productos

España: 2,80€ Otros países: 14,00€

Oferta Colección BSA

España: 7,00€ Otros países: 60,00€

Puede efectuar su pedido a través del cupón que se inserta en este número, llamando al 934 143 344 o a través de nuestra Web:
www.investigacionyciencia.es



Cynthia Rosenzweig es investigadora del Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA y del Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Columbia.

Clima: una cuestión local

Los ayuntamientos suelen contar con más recursos que los Gobiernos para reducir las emisiones de gases

Cynthia Rosenzweig

Desde hace años los científicos solicitan a los Gobiernos que hagan frente al cambio climático, puesto que consideran que los esfuerzos para prevenirlo únicamente surtirán efecto si se coordinan las acciones de diferentes países. Pero cualquiera que haya seguido el debate climático internacional de los últimos quince años sabrá que la mayoría de las naciones se resisten aún a dar pasos significativos para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Todavía parecen menos dispuestas a abordar otras cuestiones, entre ellas, cómo ayudar a que los países en vías de desarrollo eviten los efectos extremos del cambio climático. Frustrados por el actual estancamiento diplomático, algunos ayuntamientos han decidido tomar cartas en el asunto y han comenzado a echar mano de soluciones ya existentes o de nuevas ideas con el fin de limitar las emisiones de gases y afrontar las consecuencias del actual calentamiento global.

Los alcaldes y responsables de planificación urbana están tomando el relevo porque son más conscientes de las consecuencias que acarrearán los cambios meteorológicos en el futuro político y económico de sus ciudades. En 2007, Bärbel Dieckmann, entonces alcaldesa de Bonn, manifestó que «las ciudades han comenzado a sufrir inundaciones, cortes de agua, olas de calor, erosión costera y defunciones relacionadas con los niveles de ozono». Según un informe de 2009, el número de huracanes de gran intensidad en el Atlántico y la extensión de los incendios forestales en el oeste de EE.UU. se ha ido incrementando desde mediados de la década de los noventa. Si las temperaturas continúan ascendiendo, la frecuencia y la gravedad de tales eventos podría aumentar. Gran parte de las áreas metropolitanas del planeta se asentaron originariamente en las riberas de los ríos o en la costa, por lo que se hallan expuestas a inundaciones a causa de la elevación del nivel del mar o de intensas precipitaciones.

Varios dirigentes municipales afirman haber tomado conciencia de la situación tras el huracán Katrina y la devastación de Nueva Orleans en 2005. Comprobaron cómo los múltiples fallos de una infraestructura anticuada e inadecuada y una planificación urbana mediocre habían contribuido a disparar el número de víctimas mortales ante una catástrofe prevista con mucha antelación. De ahí que, unos meses después del desastre del Katrina, se crearan dos coaliciones fundamentales entre ayuntamientos: el Grupo de Ciudades Líderes en el Combate contra el Cambio Climático (C40), fundado en Londres en octubre de 2005, y el Consejo Mundial de Alcaldes contra el Cambio Climático (WMCCC), que comenzó su andadura en Kioto, en diciembre del mismo año. Por otra parte, en junio de 2011, más de 190 alcaldes y otras autoridades municipales que representan a unos 300 millones de personas de todo el planeta, firmaron un pacto voluntario patrocinado por el WMCCC para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En algunos aspectos, las ciudades se encuentran en mejor posición que las naciones para lidiar con

EN SÍNTESIS

Al verse expuestas a inundaciones, elevaciones del nivel del mar y olas de calor, las ciudades han comenzado a hacer frente al cambio climático. Tratan de innovar métodos para reducir las emisiones de dióxido de carbono, ahorrar agua, proteger los sistemas de transporte y evitar que sus habitantes padezcan golpes de calor.

Los ayuntamientos deberían poner en común las medidas más efectivas para optimizar el progreso y minimizar los costes.

LAURIE RAAB/HALLEY RESOURCES



el cambio climático. Los datos más favorables estiman que las urbes emiten al menos el 40 por ciento del total de gases de efecto invernadero, entre ellos dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y gases fluorados. Según un estudio presentado en 2011 por el grupo de Daniel Hoornweg en la revista *Environment and Urbanization*, las ciudades contribuirían al 80 por ciento de las emisiones, cifra en la que se incluye el consumo de electricidad, alimentos y otros productos que requieren la quema de combustibles fósiles. El trabajo demostró que si las ciudades que conforman el C40 constituyeran un país, su población alcanzaría los 290 millones de habitantes y ocuparía el cuarto lugar en la lista de mayores emisores de gases, encabezada por Estados Unidos, China y Rusia.

Las ciudades ya están valorando los principales riesgos climáticos que las amenazan y están intentando encarar los desafíos más notorios. Con el fin de apoyar el esfuerzo de los ayuntamientos, científicos e ingenieros estudian detenidamente los planes de acción actuales y evalúan las nuevas iniciativas sobre la base de los datos existentes. Los responsables políticos todavía tienen mucho que aprender, sobre todo en lo que respecta a la integración de las distintas ideas procedentes de sectores públicos y privados. No cabe duda de que hoy en día las ciudades poseen la capacidad de intervenir sobre las causas que originan el cambio climático y de atenuar el impacto de los futuros fenómenos meteorológicos extremos, que a estas alturas resultan ya inevitables.

En los países ricos, el
86 %
de los urbanitas habita en zonas costeras con riesgo de inundación por elevación del nivel del mar; en países de ingresos medios o bajos y en países pobres, ese porcentaje representa el 56 % y 41 %, respectivamente.

FUENTE: «Looming disaster and endless opportunity: Our world's megacities» por Saskia Sassen en *Megacities*, n.º 2, 2009

PASO A PASO

Todo núcleo urbano se enfrenta a un conjunto singular de problemas relacionados con el cambio climático. Los daños que pueda sufrir una ciudad dependerán del medio físico donde se ubique (si está construida sobre un delta o sobre una llanura de inundación), de su estructura urbana (si se trata de una aglomeración compacta muy densa o de una ciudad diseminada) y de las características del entorno construido (como la cantidad y distribución de zonas pavimentadas que facilitan el drenaje durante las tormentas). Los responsables de planificación urbana necesitan conocer con precisión los barrios y los servicios más vulnerables.

No obstante, las ciudades han comenzado ya a abordar cuatro cuestiones relacionadas entre sí:

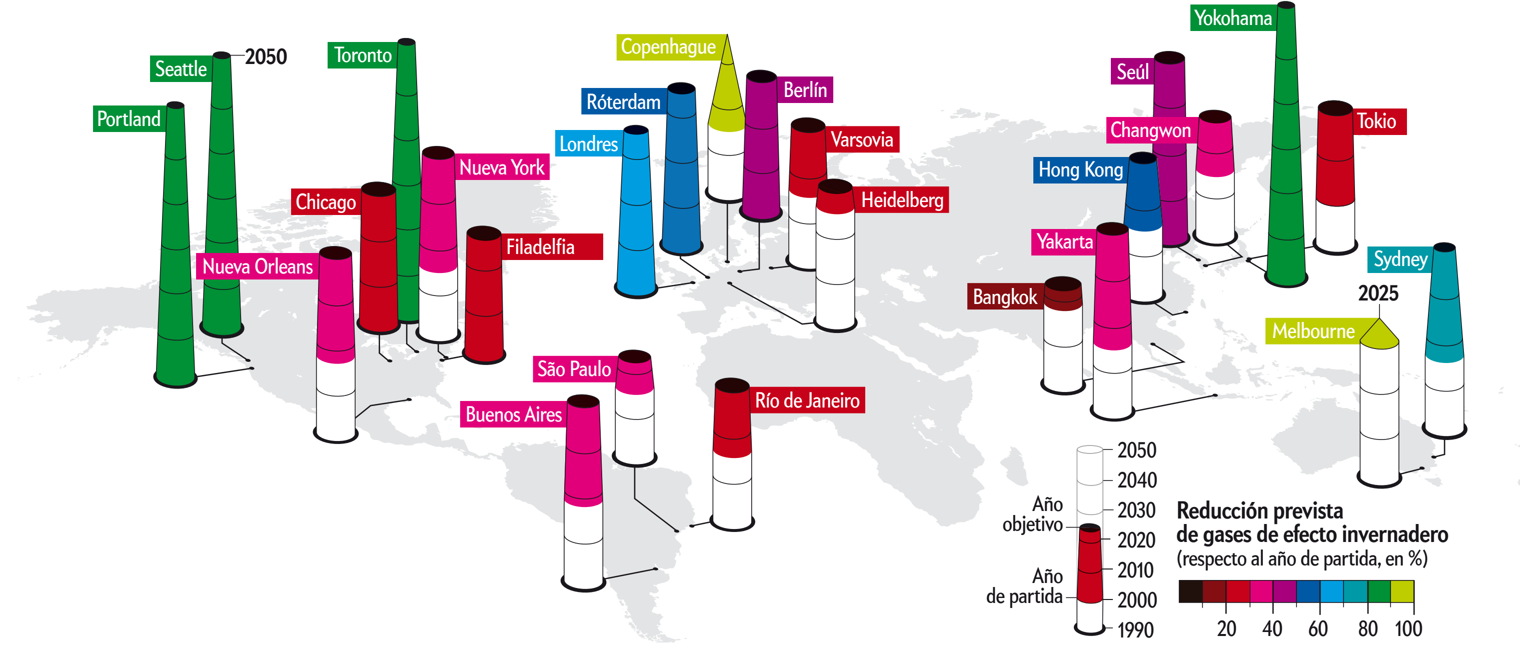
Reducir las emisiones. La energía utilizada por los edificios residenciales y comerciales representa un porcentaje importante del consumo total urbano. El aumento del coste energético y la creciente preocupación por el cambio climático incitan a muchas urbes a reducir el consumo mediante la mejora de la eficiencia energética de los edificios nuevos y el reacondicionamiento de los antiguos. El 75 por ciento de las emisiones de carbono de la ciudad de Nueva York se atribuyen a la energía consumida por los edificios. El alcalde, Michael Bloomberg, ha abordado la cuestión mediante la aplicación de un programa que evalúa el consumo de los mayores edificios de la ciudad y establece medidas rentables para mejorar su eficiencia energética. El uso de energía renovable constituye una vía para reducir las emisiones y el consumo de agua y calefacción. La ciudad de Oakland (California) cubre en la actualidad el 17 por ciento de sus necesidades energéticas con la electricidad generada en parques eólicos y solares, y en plantas geotérmicas. En las urbes de los países en vías de desarrollo, el acceso deficiente a las fuentes de energía supone a menudo el principal problema. En la mayoría de los casos, se necesitan mejorar los sistemas energéticos para apoyar el desarrollo, más que para combatir el cambio climático. No obstante, si se incentivara el uso de energías renovables, ambos aspectos podrían tratarse a la vez.

En cuanto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, algunas ciudades están mucho más avanzadas que otras. El estudio de Hoornweg demostró que cada habitante de Denver emite el equivalente a 21,5 toneladas de dióxido de carbono al año. Por el contrario, un habitante de la ciudad de Nueva York produce unas 10,5 toneladas. Debido a su mayor densidad de población, un régimen de vientos más benévolo y un uso del coche más moderado, los neoyorquinos contribuyen a menos de un tercio del promedio de emisión per cápita de todos los estadounidenses. Sin embargo, la población de Ámsterdam emite 6,7 toneladas por habitante y año, y en otras ciudades europeas la cifra es todavía menor. Con el objetivo de bajar la producción de carbono en un 40 por ciento desde 1990 hasta 2025, Ámsterdam ha adoptado una serie de medidas, como la generación de calefacción y electricidad a partir de desechos y aguas residuales, la implantación de nuevas turbinas eólicas en el puerto y la renovación de turbinas antiguas.

Conservar el agua. La mayoría de los modelos de cambio climático predicen una menor disponibilidad de agua dulce en el suroeste de América del Norte, sur de Europa, Oriente Medio y sur de África. Mediante un plan de conservación de agua que comenzó en 1983, la ciudad de Austin (Texas) ha promovido el uso de inodoros con cisternas de descarga parcial, reembolsa dinero a los ciudadanos que introducen en el césped especies vegetales autóctonas (mejor adaptadas a la sequía) y aplica tarifas de agua que aumentan gradualmente con el consumo. Las ciudades pueden regar también sus parques con «aguas grises», aguas residuales tratadas en plantas depuradoras cuya calidad permite verterlas de nuevo en los ríos pero no destinarlas al consumo humano. Ante la escasez de precipitaciones, la ciudad de Melbourne (Australia) lleva aplicando desde 2002 restricciones de agua cada vez más severas. Sin embargo, las autoridades sanitarias prevén que la drástica disminución de la escorrentía y el simultáneo ascenso de las temperaturas provocarán el calentamiento y reconcentración de las aguas residuales, con lo que aumentará el riesgo de corrosión del alcantarillado. El ayuntamiento deberá readaptar sus programas de inspección y mantenimiento para seguir adelante.

Mantener los sistemas de transporte. Las principales infraestructuras de transporte suelen ubicarse cerca de vías navegables y, por lo tanto, son vulnerables a posibles aumentos del nivel del mar y a inundaciones. Cuando se inundan túneles, rampas de acceso y respiraderos, deben emplearse bombas para drenar el agua. Hay que retirar los escombros y reparar o reemplazar los elementos esenciales del sistema, como motores, reguladores, reóstatos y transformadores. Las entradas del metro de Taipéi están diseñadas para evitar el efecto de inundaciones y mareas altas. Además, las altas temperaturas pueden dañar elementos de las infraestructuras y llegar a combar el tendido eléctrico o doblar raíles de acero. Emplear transformadores y cables que funcionen a altas temperaturas y mantener secas las instalaciones constituyen dos pasos iniciales fundamentales.

Proteger la salud pública. El ascenso de la temperatura global podría conllevar un agravamiento de los problemas de salud pública en zonas urbanas, como las afecciones respiratorias relacionadas con la baja calidad del aire o el aumento del rango de acción de determinadas enfermedades transmitidas por roedores y otros animales. Pero la consecuencia más inmediata será tal vez la mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor, que hoy ya causan en Estados Unidos el mayor número de víctimas mortales por fenómenos climáticos. Chicago y París están planeando cambios para paliar esos efectos, pero todavía no existen



suficientes estudios que informen a las autoridades sanitarias sobre las intervenciones que salvarían vidas o disminuirían las hospitalizaciones (como la apertura de centros de refrigeración o la identificación de la población más vulnerable). Algunos planes de adaptación podrían compensar en más de un sentido. Así, un aumento de la eficiencia energética reduciría el consumo eléctrico, lo que a su vez atenuaría el calentamiento y la polución de las ciudades y, por lo tanto, habría menos casos de golpes de calor y asma.

Una vez identificados los riesgos concretos de sus ciudades, los dirigentes municipales necesitan una estrategia para priorizar las iniciativas. La autora del presente artículo y sus colaboradores sugieren a los ayuntamientos que se concentren en las medidas que ofrezcan un beneficio múltiple. Por ejemplo, la técnica de cubrir los tejados de vegetación disminuye la escorrentía durante las tormentas y actúa como aislante, de modo que el consumo energético desciende y, en consecuencia, se reducen las emisiones de carbono.

EL ÉXITO DE LA COLABORACIÓN

En la mayoría de los casos, los ayuntamientos carecen del conocimiento que les permita determinar sus riesgos asociados al cambio climático y desarrollar el consiguiente plan de acción. Una serie de grupos internacionales, incluida la Red para el Estudio del Cambio Climático Urbano, colaboran para intentar paliar tal deficiencia poniendo en contacto a investigadores y responsables políticos. El presente año, la red ha realizado el primer estudio de evaluación en unas cincuenta ciudades (entre ellas Buenos Aires, Dehli y Lagos). Ha demostrado, entre otras cosas, que las inundaciones catastróficas son tan nefastas como las incesables sequías, en lo que se refiere a pérdidas de energía o abastecimiento de agua potable. Ese tipo de estudios tienen un doble objetivo: por un lado, analizar los retos a los que se enfrentan las urbes como consecuencia del cambio climático; por otro, evaluar los posibles planes de adaptación que pudieran atenuar los efectos más desastrosos.

Para lograr avances importantes, se deberían desarrollar una serie de normas comunes para describir la emisión y la reducción de gases de efecto invernadero, los impactos del cambio climático en las ciudades y los esfuerzos para evitar la pérdida de vidas humanas y de propiedades. La adopción de esas normas a nivel mundial permitiría a las urbes evaluar su progreso, comparar sus resultados con los de otros municipios y compartir sus innovaciones.

Asimismo, las ciudades deberían ocuparse de grandes grupos de habitantes, en especial los de los barrios más pobres y vulnerables, quienes con más probabilidad sufrirán las consecuencias del cambio climático y deberán realizar las adaptaciones más drásticas. Por ejemplo, la ciudad de Quito ofrece soporte técnico a los granjeros pobres de las zonas circundantes para que sustituyan el cultivo de patatas y maíz por cultivos autóctonos andinos como la quinua, que exige menos agua y mitiga la erosión del suelo. La adopción de esas medidas favorece el aumento de la cantidad y la calidad del agua disponible tanto en medios urbanos como rurales.

A lo largo de los seis años que han sucedido al huracán Katrina, las iniciativas tomadas por algunas de las ciudades más grandes del mundo para afrontar el cambio climático han demostrado la posibilidad de lograr avances si los políticos colaboran entre sí. Queda mucho por hacer y numerosas ciudades todavía no se han puesto manos a la obra. Pero la inercia aumenta. Esperemos que no sea demasiado tarde para salvar vidas y asegurar el futuro.

Ciudades avanzadas: Para mitigar el cambio climático, Seattle pretende haber reducido en 2050 el 80 % de las emisiones de gases de efecto invernadero que producía en 1990. Melbourne planea haber recortado el 100 % de las emisiones hacia 2025 (con una producción neta nula de gases), lo que exigirá la compra de derechos de emisión de carbono.

PARA SABER MÁS

Cities and climate change: Global report on human settlements 2011. UN-HABITAT, 2011. **www.unhabitat.org/pmss**

Climate change and cities: First assessment report of the urban climate change research network. Dirigido por Cynthia Rosenzweig, William D. Solecki, Stephen A. Hammer y Shagun Mehrotra. Cambridge University Press, 2011.

Red para el Estudio del Cambio Climático Urbano: **www.uccrn.org**

Urbanización y Cambio Ambiental Global: **www.ugec.org**

CARBON DISCLOSURE PROJECT, KPMG ADVISORY N.V. (*datos*), JEN CHRISTIANSEN (*gráfico*)

La ciudad eficiente

Municipios de todo el mundo aplican soluciones creativas para reducir el consumo energético, el gasto de agua, los residuos y las emisiones, al tiempo que facilitan la movilidad de las personas

Mark Fischetti

ENERGÍA UNDIMOTRIZ
Unos cilindros enclavados por bisagras en el lecho marino reciben el empuje de las olas y accionan unas turbinas generadoras de electricidad (Orkney, Escocia).

COMPUERTAS FRENTE A MAREJADAS
Las compuertas abiertas en ríos, estuarios y canales se cierran en previsión de marejadas para proteger las infraestructuras subterráneas y de tendido bajo (Róterdam; Londres).

CALENTAMIENTO SOLAR DEL AGUA
El agua caliente para uso doméstico no se obtiene de calderas, sino de depósitos expuestos a los rayos solares en el tejado (Rizhao, China).

PANELES SOLARES
Las fachadas orientadas al sur se hallan cubiertas por paneles fotovoltaicos que generan electricidad (Berlín).

TURBINAS SUBACUÁTICAS
Unas turbinas asentadas sobre el fondo del mar o el lecho del estuario giran por la acción de las mareas diarias y generan electricidad (ciudad de Nueva York).

APARCAMIENTO INTELIGENTE
Parquímetros digitales avisan a los teléfonos móviles y a las aplicaciones de navegación de que ha quedado una plaza libre, lo que aligera el tráfico creado por la búsqueda prolongada de aparcamiento (San Francisco).

APARCAMIENTO SUBTERRÁNEO
Los garajes subterráneos próximos a los lugares de destino evitan la ocupación de la superficie por coches (París).

EL PRECIO DE LA CONGESTIÓN
Aplicar tarifas más altas a los conductores que circulan por zonas aglomeradas tiende a mitigar el tráfico (Estocolmo; Singapur).

TRANSPORTE SUBTERRÁNEO
Los trenes de cercanías, el metro y las carreteras principales discurren por grandes túneles subterráneos; la superficie queda libre para los desplazamientos a pie o en bicicleta, no contaminantes (Portland, Oregón).

SOPORTES Y CARRILES PARA BICIS
Unos amplios carriles para circular en bici y los soportes donde guardarlas animan a utilizarlas y prescindir del coche, lo que además promueve el ejercicio físico (Minneapolis).

BRYAN CHRISTIE

VENTANAS DE ALTO RENDIMIENTO
Las ventanas de aislamiento especial cuadruplican la eficiencia térmica de las de doble panel y pueden fabricarse a partir del vidrio de las ventanas existentes (Empire State Building, Nueva York).

ENERGÍA SOLAR
La electricidad es generada por paneles, no por centrales eléctricas. Estos, además, sombrean las azoteas y rebajan las exigencias de refrigeración del edificio (Redlands, California).

HORMIGÓN QUE SECUESTRA CARBONO
Los gases de efecto invernadero podrían reducirse mediante el empleo de hormigón fabricado localmente a partir del dióxido de carbono emitido por las centrales eléctricas (en desarrollo).

AGRICULTURA VERTICAL
El cultivo interior de alimentos moderaría el uso de fertilizantes y de agua dulce, abreviaría el transporte y reciclaría las aguas grises de otro modo desechadas por las depuradoras (en desarrollo).

TASA POR EL AGUA DE ESCORRENTÍA
Cargar a los propietarios de fincas un impuesto por el volumen de escorrentía que vierten durante las tormentas promueve las reformas para aminorar el volumen de agua residual en las depuradoras (Filadelfia).

TEJADOS VERDES
La vegetación sobre el tejado aísla la casa contra el calor y el frío, y además absorbe el agua pluvial (Chicago).

BARRIOS SOSTENIBLES
La construcción según normas ecológicas, o con la certificación de Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED), ahorra energía y materiales y reduce las emisiones (Rockville, Maryland).

TEJADOS BLANCOS
Los tejados pintados de blanco reflejan el calor, disminuyen el coste de refrigeración del edificio y evitan el calentamiento excesivo de la ciudad (Washington, D.C.)

CONTROL DE RIEGO POR SATÉLITE
El control por satélite de los sistemas de riego en parques y céspedes reduce el consumo de agua y la energía necesaria para el bombeo (Los Ángeles).

RECOGIDA SELECTIVA
Los comercios y viviendas deben separar la basura en residuos orgánicos, materiales reciclables y resto; los impuestos por la recogida se rebajan a menor basura generada (San Francisco).

APARATOS DE BAJO CAUDAL
Al instalar en las casas inodoros y duchas que economizan agua, se ahorran millones de litros al año (Austin, Texas).

TAXIS HÍBRIDOS
La conversión de gran parte de la flota de taxis en vehículos híbridos reduce la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero (San Francisco; ciudad de Nueva York).

GALERÍAS SUBTERRÁNEAS
La conducción por túneles de los servicios de electricidad, agua, televisión por cable e Internet de banda ancha minimiza los daños por tormentas y facilita las reparaciones (Londres).

INCINERACIÓN DE LODOS RESIDUALES
Los desechos sólidos extraídos de las aguas residuales en las depuradoras se incineran para producir electricidad (Nashville; Buffalo, estado de Nueva York).

El científico jefe de México

Mario Molina, galardonado con el Nobel en 1995 por sus investigaciones sobre la capa de ozono estratosférico, intenta convertir la capital mexicana en una ciudad más limpia

Jeff Tollefson

EN SÍNTESIS

La ciudad de México, con 20 millones de habitantes, fue considerada antaño como la ciudad más contaminada del planeta. Aunque se han logrado mejoras, la calidad del aire continúa siendo deficiente.

Hoy disponemos de más datos sobre la contaminación atmosférica de México D.F. que sobre la de cualquier otra ciudad de países en vías de desarrollo y, quizá, del planeta.

Mario Molina, premio nóbel por sus estudios en química atmosférica, regresó hace seis años a su ciudad natal. Su centro de análisis y estudios estratégicos pretende ayudar en la elaboración de políticas que hagan de México D.F. una ciudad más sostenible.

Los taxistas conocen su nombre, los líderes políticos buscan su consejo y los desconocidos le saludan con una mezcla de felicitación y agradecimiento. Tal es la fama de Mario Molina, un químico que, a sus 68 años, se ha convertido en todo un símbolo en México D.F., su ciudad natal.

Molina abandonó la capital mexicana hace más de cuarenta años para doctorarse en Estados Unidos. Su primer artículo postdoctoral, de 1974, advertía al mundo de los peligros que entrañaban los compuestos clorofluorocarbonados (CFC) para la capa de ozono, el escudo que protege a nuestro planeta de la radiación ultravioleta. Ello le valió el premio Nobel de Química en 1995 y, a la postre, lo convirtió en uno de los investigadores más reputados del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Hace unos seis años, fuertes lazos personales y culturales llevaron a Molina de regreso a su ciudad natal, donde abandonó la química estratosférica en favor de la acción política, la planificación urbanística y el cambio climático.

Molina se enfrenta al desafío de convertir la capital de México en la ciudad más verde de todas las megalópolis de Latinoamérica, un objetivo que no se antoja nada fácil. La urbe, de 20 millones de almas, fue antaño considerada la ciudad más contaminada del mundo. Si bien es cierto que su situación progresó de manera considerable durante los años que Molina pasó en EE.UU. y que, desde su regreso, el químico no ha dejado de impulsar mejoras, la metrópoli sufre aún una pertinaz contaminación atmosférica, una urbanización rampante y condiciones sanitarias deficientes.

A fin de abordar tales problemas, Molina ha reunido a un grupo de expertos a través del Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente. El laureado se vale de su prestigio para asesorar a dirigentes del Gobierno y de la industria. Hay quienes opinan que debería adoptar posturas más enérgicas en ciertas cuestiones, pero su estilo calmado le ha ganado ya la confianza del alcalde de la ciudad, Marcelo Ebrard, y la del presidente del Gobierno, Felipe Calderón. Es su manera de devolver al país las oportunidades que este le brindó durante su formación. «Desde luego, el premio Nobel supone un gran honor, pero también una responsabilidad», explica. «Si lo empleo con sensatez, puedo influir en las decisiones gubernativas.»

UNA OLLA EN EBULLICIÓN

Molina creció en una atmósfera de cultura y privilegio, con un padre que destacó como abogado, académico y diplomático. Su época de estudiante le llevó a recorrer el mundo: se educó en un internado suizo, en universidades de México y Alemania, y se doctoró en la Universidad de California en Berkeley. Aquello le ayudó a forjar una visión internacional del mundo y una personalidad de diplomático. Aunque acostumbrado a asesorar a legisladores y jefes de Estado sobre problemas espinosos, Molina no es una persona dada a la ostentación.

«Mario transmite una modestia y humildad extraordinarias», asegura Adrián Fernández Bremauntz, amigo y colaborador de Molina desde hace tiempo y director del Instituto Nacional de Ecología, entidad investigadora de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales mexicana.

Tras recibir el Nobel, Molina aprovechó su libertad académica como profesor del MIT para reconsiderar su agenda científica. En 1999, junto a

M. UGARTE, NATURE



Luisa Molina —su primera esposa y, durante largo tiempo, también colaboradora—, estableció el Programa Integrado sobre Contaminación Atmosférica Urbana, Regional y Global. Su primer proyecto versó sobre México D.F.

Por entonces la ciudad ya había logrado avances considerables en las regulaciones sobre contaminación atmosférica. Durante los años ochenta y noventa se eliminó gradualmente la gasolina con plomo y se impusieron límites a las concentraciones de azufre en el gasóleo. Las centrales térmicas y la industria fueron prescindiendo de algunos derivados del petróleo en favor del gas natural, menos contaminante, y se prescribió la instalación de catalizadores y otros dispositivos en los automóviles de nueva fabricación.

Con todo, los índices de contaminación continuaban siendo muy elevados. En 2003 y 2006 el matrimonio organizó sendas campañas de muestreo del aire en las que participaron cientos de expertos de instituciones mexicanas, estadounidenses y europeas. Sus resultados han originado más de 170 publicaciones; hoy, disponemos de más datos sobre la contaminación atmosférica de México D.F. que sobre la de cualquier otra ciudad de países en vías de desarrollo y, quizá, del planeta.

La metrópoli podría compararse a una olla en ebullición. El Distrito Federal se alza sobre una meseta, a 2240 metros sobre el nivel del mar, donde la abundante radiación ultravioleta cocina una mezcla que incluye aerosoles de carbono, óxidos de nitrógeno y de azufre (de los escapes de los vehículos) y compuestos orgánicos volátiles (COV, generados por automóviles, fugas de bombonas de gas, disolventes y pinturas). La reacción entre los óxidos de nitrógeno y los COV produce ozono, un componente perjudicial del esmog que, con frecuencia, queda atrapado sobre la ciudad debido a las montañas que la rodean y a los episodios de inversión térmica.

Las campañas de muestreo pusieron de manifiesto que, en contra de lo esperado, eran los COV, y no los óxidos de nitrógeno, los que controlaban la cantidad de ozono sobre la ciudad. Las autoridades están ampliando ahora la regulación sobre contaminantes para incluir en ella los COV producidos por determinadas fuentes. «Antes no prestábamos mucha atención a los disolventes», explica Víctor Hugo, directivo del programa de calidad del aire de la ciudad. «Ahora se han convertido en una parte fundamental de la nueva normativa.»

En 2004, los Molina se trasladaron a la Universidad de California en San Diego, pero el matrimonio acabó tomando sendas distintas tanto en lo personal como en lo científico. Luisa prosigue sus trabajos sobre megalópolis en San Diego, en su propio instituto, el Centro Molina para la Energía y el Entorno. Mario regresó a México D.F., donde emprendió la lucha contra el esmog por medio de una reducción de la concentración de azufre en los combustibles.

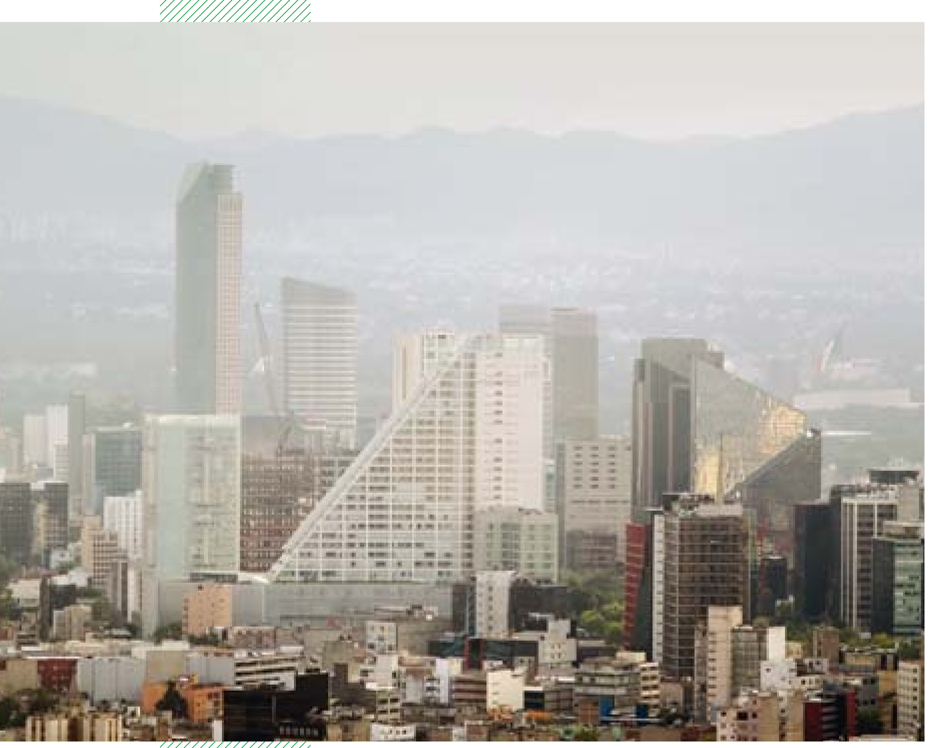
Fernández asegura que la voz de Molina se mostró crucial para que la calidad del aire no despareciese de la agenda política en un momento en que la voluntad estaba flaqueando, precisamente a causa de todos los avances logrados con anterioridad. La presión ejercida por Molina y otros contribuyó a que las autoridades fomentasen el uso de combustibles bajos en azufre, gran parte de los cuales han de importarse. Ahora el país está considerando nuevas normas sobre emisiones contaminantes y eficiencia energética para los vehículos. Molina se siente alentado por estos avances, pero rebaja la importancia de su gestión. «Se debe al esfuerzo de muchas personas», explica.

El centro que lleva su nombre se aloja en una moderna torre de oficinas, en una colina al oeste de la ciudad. Guillermo Velasco, coordinador de proyectos, señala desde la ventana de su oficina todos los edificios que han brotado durante los diez últimos años. «La ciudad crece horizontalmente», explica Velasco, que conoció a Molina cuando estudiaba ciencias políticas en la Universidad de Harvard. «No es sostenible.»

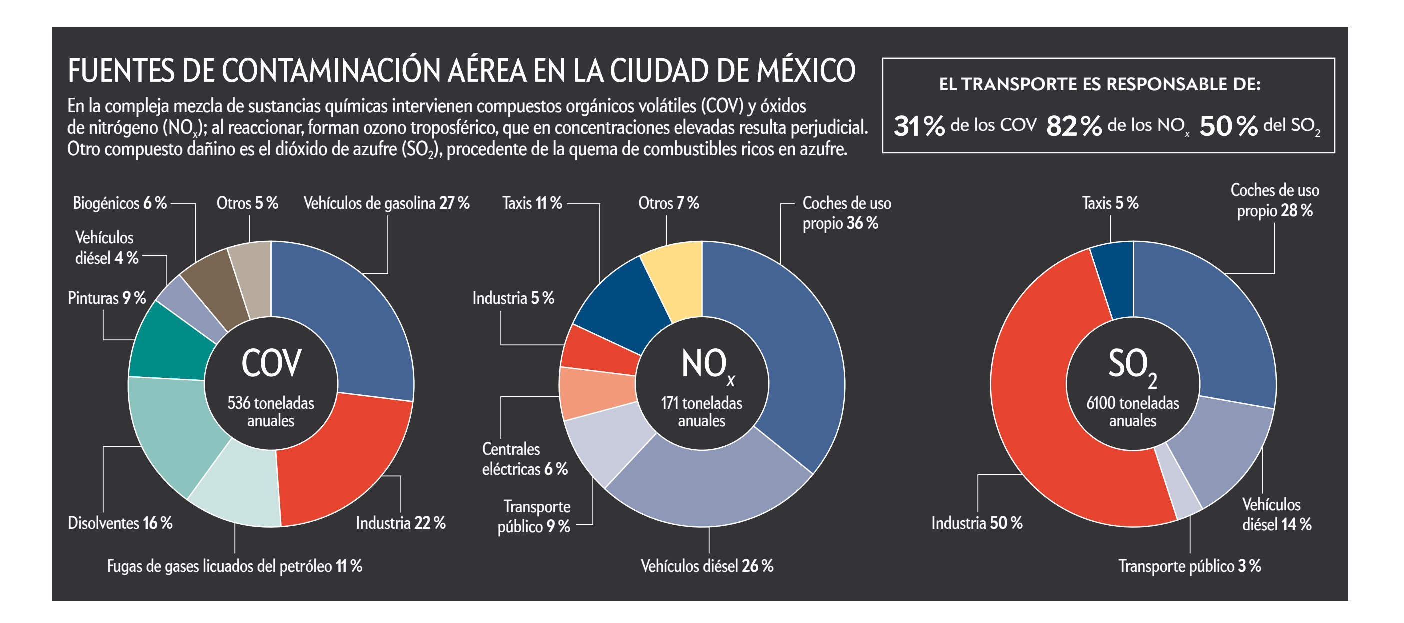
Molina reconoce que numerosas urbes en todo el mundo han tropezado con problemas similares, pero el caso de México D.F. arrastra la carga de una corrupción generalizada, una bolsa de pobreza asfixiante y pocos recursos gubernativos para cambiar la situación. Una vez establecidos, los poblados chabolistas resultan difíciles de controlar. E incluso en áreas menos pobres, las constructoras se hacen con tierras baratas y edifican a voluntad. «Con buenos planes urbanísticos y con disposiciones legales que obligasen a respetarlos, eso no ocurriría», explica Molina.

Su centro de análisis y estudios estratégicos pretende ayudar en la elaboración de políticas que ha-

A pesar de todas las medidas, **los niveles de esmog en la ciudad de México continúan siendo excesivos.**



STOCKCAM/ISTOCKPHOTO



gan del Distrito Federal una ciudad más sostenible. La institución partió de poco: apenas Molina y algunos colaboradores de sus días en las universidades de México y Berkeley. Parte de la financiación inicial llegó de la Fundación William y Flora Hewlett (en Menlo Park, California) y del mexicano Carlos Slim, magnate de las telecomunicaciones. Durante los últimos seis años, el centro ha crecido hasta ocupar a unas 45 personas, entre quienes se cuentan ingenieros ambientales, arquitectos, urbanistas y biólogos.

El equipo persigue cambios políticos en diversos frentes. Respalda una ampliación del transporte público, vecindarios mixtos que permitan a la gente vivir cerca del trabajo y reformas fiscales para disuadir la dispersión inmobiliaria, así como vías para integrar la planificación en los diversos escalones oficiales. Con ello pretende contribuir a una política ambiental de mayor alcance y que incluya el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 12 por ciento entre 2008 y 2012. El cambio climático se ha convertido en una prioridad en México. Ebrard preside el Consejo Mundial de Alcaldes Sobre Cambio Climático, que celebró una cumbre en la capital mexicana el 21 de noviembre de 2010, justo antes de la Conferencia Internacional sobre Cambio Climático de Cancún.

Pero el centro de Molina no se encuentra libre de controversias. Ha sido acusado de asesorar a empresas como PEMEX, la compañía nacional de petróleos, en lugar de centrarse en un programa independiente. Molina viaja a menudo debido a sus muchos compromisos internacionales, entre los que se encuentran la pertenencia al Consejo Asesor de Ciencia y Tecnología de Barack Obama y una plaza a tiempo parcial en la Universidad de California en San Diego. Los fundadores del centro y los miembros del gabinete asesor, Fernández entre ellos, han instado a Molina a participar más en la dirección.

Molina admite las críticas y está trabajando en una reestructuración estratégica del centro. Afirma que este nunca ha comprometido sus logros por haber colaborado con la industria —una actividad que considera necesaria—, pero se está distanciando de las actividades de consultoría remunerada. El Congreso mexicano facilitó las cosas al asignar al centro 50 millones de pesos (unos 3,5 millones de euros) en 2010, con lo que prácticamente duplicó el presupuesto anual de la institución.

DE LOS CFC A LA CAPA DE OZONO

«El Centro Mario Molina podría convertirse en una de las instituciones de política energética y ambiental con mayor credibilidad de todas las que existen en los países en vías de desarrollo», opina Joseph Ryan, antiguo gerente de la Fundación Hewlett, que entre 2004 y 2009 donó al centro 4 millones de dólares (unos 3 millones de euros). Sin embargo, Ryan apunta que el centro se halla demasiado vinculado a su fundador y que debería desarrollar una credibilidad propia, «independiente del sello Mario Molina».

Molina comenzó a dejar patente su estilo propio en 1973, cuando llegó a la Universidad de California en Irvine para incorporarse como miembro postdoctoral al equipo de Sherwood Rowland, experto en química atmosférica. Rowland le ofreció varios proyectos. Casi todos versaban sobre moléculas radiactivas salvo uno, que pretendía estudiar una clase de compuestos de importancia comercial creciente: los clorofluorocarbonados, empleados como refrigerantes y propelentes para espráis. Rowland pensaba que esos compuestos podrían servir como trazadores en las investigaciones atmosféricas. Molina eligió el proyecto sobre CFC, atraído por sus consecuencias potenciales. «Sin duda, [Molina] acertó con el proyecto y, desde luego, su participación resultó fundamental para sacarlo adelante», asegura Rowland. «Al cabo de tres meses,



nos dimos cuenta de que habíamos dado con un problema delicado.»

Los CFC eran muy utilizados en productos comerciales porque no parecían reaccionar con otros gases. En consecuencia, debían acumularse en la estratosfera, lo que condujo a los dos expertos a deducir que allí se descompondrían debido a las bajas temperaturas y a la acción de los rayos ultravioleta de alta energía. En esas reacciones se liberarían átomos de cloro, que, a su vez, descompondrían el ozono. Molina y Rowland publicaron sus hallazgos en *Nature* en junio de 1974.

Ese trabajo contribuyó a que EE.UU. vetase en 1978 el uso de CFC a modo de propelentes en espráis y, después, a la suspensión gradual de su uso en todo el mundo como consecuencia del Protocolo de Montreal sobre Sustancias Degradantes de la Capa de Ozono, celebrado en 1987. El artículo de 1974 sirvió también para orientar la investigación de Molina. El estudio de la atmósfera le permitía satisfacer su interés por la química fundamental, pero en un área cercana a la investigación aplicada.

En 1985, investigadores británicos demostraron que la capa de ozono de la Antártida desaparecía cada primavera a una velocidad mucho mayor que la predicha por las reacciones propuestas por Molina y Rowland. Mario y Luisa Molina, que entre tanto se habían trasladado al Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA, en Pasadena, se sumaron a la carrera para explicar el agujero de ozono. «Fue una de las voces más amables de aquella pelea», asegura Michael Prather, experto en química atmosférica de la Universidad de California en Irvine.

Dos años después, los Molina y sus colaboradores resolvieron el problema al proponer una cadena de reacciones en la que el cloro se recicla y descompone repetidamente el ozono. El proceso comienza cuando un átomo de cloro captura un átomo de oxígeno de la molécula de ozono (O_3) y forma monóxido de cloro. Este compuesto, muy reactivo, se combina consigo mismo y forma el dímero Cl_2O_2. Al llegar la primavera a la Antártida, los rayos solares disocian la molécula y liberan los dos átomos de cloro, con lo que el proceso comienza de nuevo. Aunque Molina obtuvo el premio Nobel por su trabajo de 1974, algunos consideran que fue este segundo descubrimiento, logrado cuando la comunidad competía por comprender el fenómeno, el que dio lustre a sus credenciales. Molina atribuye su éxito a un poco de suerte, intuición y mucho trabajo. «Parte de la suerte reside en acertar con el problema», explica, «pero después hay que aprovecharla bien».

Prather afirma que Molina posee una gran capacidad para apartarse de los detalles científicos y pensar en los problemas que afectan a la sociedad. No se sorprendió cuando Molina dirigió su atención al estudio de la contaminación en su ciudad natal: «Todos sabíamos de sus profundos lazos con México».

A primeros de septiembre de 2010, Molina pronunció un discurso de 45 minutos sobre cambio climático ante ejecutivos de la Asociación Mexicana de Banca. Fue la apertura de un acto organizado en parte por la Iniciativa para Financiación de Programas Medioambientales de Naciones Unidas en preparación para la cumbre de Cancún. Molina explicó los aspectos científicos del cambio climático sin pasar por alto la recomendación de adoptar medidas políticas concretas, como han comenzado a hacer algunos expertos. Tras la charla, Burghard Petersen, antiguo banquero y actual asesor sobre clima, que reside en México desde hace 20 años, declaró: «[Molina] inspira credibilidad. No es un agente de ventas».

No faltan quienes opinan que debería vender sus ideas con más vigor. «Mario ha optado por un enfoque amistoso, moderado y constructivo», afirma Fernández. «Pero, si desea lograr sus objetivos, le recomendaría que de cuando en cuando agarrase al Gobierno por el pescuezo y fuese más enérgico.»

UNA CARRERA DE FONDO

De regreso a su oficina, Molina explica que prefiere construir coaliciones desde dentro que valerse de la prensa y de su autoridad para ejercer presión. Cuidadoso para no revelar sus preferencias políticas, ha trabado relaciones con partidos a ambos lados del espectro político mexicano. Al igual que en otros países en vías de desarrollo, en México las cuestiones ambientales no suscitan la división partidista que se observa en Estados Unidos. Molina prefiere que las cosas continúen así.

De la pared de su despacho cuelga una acuarela que representa un paraguas abierto en tonos apagados, un regalo del comité Nobel que simboliza el escudo de ozono que Molina ha ayudado a preservar. El científico reconoce que los problemas sociales y políticos en los que trabaja ahora no se dejarán resolver con tanta facilidad como las cuestiones relativas al estudio de la estratosfera. Algunos días puede verse el centro de la ciudad desde la ventana de su despacho; otros, el esmog lo nubla todo. Una indicación sobrecogedora de todo lo que queda por hacer.

De personalidad optimista, Molina prefiere mirar a largo plazo y opina que, en conjunto, la civilización va a mejor. Recuerda que hace solo 500 años, en tiempo de los aztecas, se practicaban sacrificios humanos en el alto del templo que se levantaba sobre lo que hoy es el centro de la ciudad. «Hoy tal cosa sería inconcebible», afirma. «No soy ingenuo. Sé que llevará tiempo, pero estamos abordando el problema y haciendo lo máximo que podemos.»

Jeff Tollefson *es corresponsal de la revista* Nature *en Washington.*

PARA SABER MÁS

Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalysed destruction of ozone. Mario J. Molina y F. S. Rowland en *Nature*, vol. 249, págs. 810-812, 1974.

Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. J. C. Farman, B. G. Gardiner y J. D. Shanklin en *Nature*, vol. 315, págs. 207-210, 1985.

Production of chlorine oxide (Cl_2O_2) from the self-reaction of the chlorine oxide (ClO) radical. L. T. Molina y M. J. Molina en *The Journal of Physical Chemistry*, vol. 91, págs. 433-436, 1987.

An overview of the MILAGRO 2006 campaign: Mexico City emissions and their transport and transformation. L. T. Molina et al. en *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 10, págs. 7819-7983, 2010.

Artículo original publicado en *Nature*, vol. 467, págs. 902-905, 2010.

CIUDADES

MEJORES



Castillos en el aire

Los ataques del 11-S parecían señalar el fin de la era de los rascacielos. Diez años después se construyen cada vez en mayor número

Mark Lamster



EN SÍNTESIS

La construcción de rascacielos alcanza un máximo histórico, en gran parte debido a la rápida urbanización de la sociedad en Asia. Gracias a los progresos de la ingeniería, estos edificios resultan más seguros que nunca.

Los rascacielos ofrecen soluciones a los problemas más acuciantes del presente siglo: la superpoblación y el calentamiento global.

En la cumbre: El Burj Khalifa de Dubái alcanza casi la misma altura que las destruidas Torres Gemelas puestas una encima de otra.

Mark Lamster es historiador de la arquitectura y redactor de *Architectural Review.* Prepara una biografía del difunto arquitecto Philip Johnson.

690.000 viajes en bicicleta realizados en los primeros 10 meses del programa para compartir bicis en Washington, D.C.; los usuarios alquilan una bicicleta en un lugar de la ciudad y la entregan en su punto de destino.
FUENTE: Departamento de Transporte del Distrito

Todo cambió en esa triste mañana de hace diez años. Les Robertson ofrecía una cena en Hong Kong cuando sonaron los teléfonos móviles que reposaban sobre la mesa. Era la primera noticia de un choque contra una de las Torres Gemelas en Nueva York. Robertson, que había diseñado su estructura, no se preocupó demasiado en un principio. «Supuse que se había estrellado un helicóptero contra el Trade Center», dijo hace poco desde su despacho en el piso 47, con vistas sobre la Zona Cero. El hecho, por desgraciado que hubiera sido, encajaba en las tolerancias con las que se ideó la estructura de las torres.

Pero unos minutos después, cuando los teléfonos avisaron de una segunda colisión, Robertson comprendió que se trataba de «algo muy distinto» y pidió disculpas por observar los sucesos desde una habitación de hotel.

En las semanas siguientes, Robertson rehuyó comentar en público la tragedia, pese a las fuertes críticas que suscitó el novedoso diseño estructural de las torres. Pensó entonces que había terminado su carrera como diseñador de estructuras. Incluso parecía que la profesión entera se había quedado obsoleta, mientras se propagaba el temor de que los ataques terroristas señalaban el final de la era de los rascacielos.

Los periódicos estadounidenses reflejaron esa inquietud. «Muchos temen que vivir en las alturas conlleve más riesgos que encanto», se leía el 19 de septiembre en *Wall Street Journal.* En esa misma fecha, *USA Today* subía aún más el tono: «La semana pasada no solo se destruyó el World Trade Center. El futuro del rascacielos como seña de identidad de EE.UU. pende de un hilo».

En los siguientes meses, la prensa informó sobre distintos aparatos (paracaídas, cuerdas, vehículos separables) que facilitarían el desalojo de edificios en llamas, y la Oficina de Patentes y Marcas de EE.UU. recibió propuestas al respecto. Los ataques desencadenaron una ola de vértigo mundial.

Más allá del miedo por la seguridad, dominaba la sensación de que, en la era digital, la ciudad (y dentro de ella, el rascacielos) se había convertido en una reliquia del pasado. Henry Petroski, profesor de ingeniería en la Universidad Duke y autor de numerosas obras sobre el diseño de objetos cotidianos, proclamaba esa idea cinco días después del 11-S en el ensayo *Onward but Perhaps Not Upward* («En extensión pero quizá no en altura»), publicado en el *Washington Post.* Según Petroski, la comunicación rápida y fácil que ofrece Internet se traduce en una menor necesidad de construcciones contiguas y compactas.

En la realidad, los diversos vaticinios sobre el fin de los rascacielos resultaron erróneos, y su cuestionamiento no pasó de ser transitorio. Se había incluso proclamado la idea irracional de que los rascacielos ponían en peligro la vida de las personas. Ante lo cual, Carol Willis, director fundador del Museo del Rascacielos en la Ciudad de Nueva York, sostiene: «Fueron los terroristas quienes causaron las muertes, no unos edificios malignos o peligrosos».

Fuera de Estados Unidos, la construcción apenas descendió después del 11-S. La furiosa urbanización que recorre la otra orilla del Pacífico ha generado una enorme demanda de rascacielos. Como señala T. J. Gottesdiener, gerente asociado de Skidmore, Owings & Merrill (firma emblemática del diseño de torres corporativas), «en China, Oriente Medio y el resto de Asia nadie se inmutó. Todos los proyectos que teníamos en fase de diseño siguieron adelante».

Sin duda, nuestro modo de ver esos edificios ha cambiado por completo desde aquel día: ahora comprendemos que representan algo más que una aglomeración que se destaca en el perfil urbano. De hecho, podrían ofrecer el sistema más eficiente y sostenible de acomodar la oleada de urbanización mundial.

CRECER EN ALTURA

A pesar de lo sucedido, el pasado decenio ha representado el período de máxima construcción de rascacielos en la historia. Según el Consejo de Edificios Altos y Hábitats Urbanos (CTBUH), organización que lleva cuenta del desarrollo de rascacielos, desde 2001 se han construido unas 350 torres, con lo que su número en el mundo se ha más que duplicado. En ese período se ha doblado también el número de «supertorres» (de más de 300 metros de altura).

La expansión se acelera. El año pasado se completó el Burj Khalifa, en Dubái, que, con sus 828 metros, no solo es el edificio más alto del mundo sino que además sobrepasa a su competidor más próximo (el Taipéi 101, terminado en 2004) en 320 me-

Espacio ecológico: Los rascacielos modernos, como la torre del Bank of America (*en primer término*) están equipados con técnicas de ahorro de energía.

IWAN BAAN (*páginas anteriores*); DAVID SUNDBERG *Esto* (*página opuesta*)



tros, más o menos la altura del edificio Chrysler de Nueva York. Ni en este año ni en el que viene se coronará edificio alguno que aventaje al Burj Khalifa, pero 2011 pasará a la historia como el año en que más edificios altos se habrán construido: 97 rascacielos (incluidas 22 supertorres) de más de 200 metros.

Willis subraya que los clientes piden ante todo edificios que resulten «emblemáticos». Desean que sean altos, porque esa representa la mejor manera de rentabilizar la inversión.

Pero la mayoría de las supertorres no pueden valorarse en términos estrictamente económicos. Por encima de los 70 pisos de altura (la cifra exacta depende de la ubicación), los costes suplementarios necesarios para mantener la estabilidad estructural, así como el espacio adicional que requieren los ascensores y otros servicios, suelen excluir cualquier beneficio económico directo.

Casi todos esos edificios gigantescos se erigen más allá de las fronteras estadounidenses. Las ciudades utilizan como marca definitoria su perfil en el horizonte, afirma Antony Wood, director gerente de CTBUH. Consideran que esa silueta acredita la entrada de su país en el Primer Mundo.

Solo uno de los 20 edificios más altos terminados en 2010, la torre Legacy de Chicago, se alza en suelo estadounidense —y a duras penas, porque ocupa el puesto 19—. El World Trade Center Uno, antes llamado Freedom Tower, representa solo el cuarto de los edificios más altos que se construyen hoy en el mundo. Se prevé finalizarlo en 2013, cuando alcance la altura simbólica de 541 metros (1776 pies, cifra que corresponde al año de independencia de EE.UU.).

China es el país líder en la construcción de rascacielos. Según informaba en 2009 el Instituto Global McKinsey, hacia 2025 la población urbana china se habrá incrementado en 350 millones de habitantes. En comparación, la migración de afroamericanos desde las ciudades sureñas de la época de Jim Crow, en 1915, hasta las ciudades del norte, en 1970, solo desplazó a seis millones de personas.

Aun cuando no se levanten en Estados Unidos, los edificios de extraordinaria altura siguen representando en gran medida ese país, y su diseño está dominado por firmas estadounidenses de arquitectura e ingeniería. «Si uno quiere gastarse 3000 mi-

LA CUMBRE

Las

10

ciudades más ricas del mundo en 2025, según su PIB per cápita previsto:

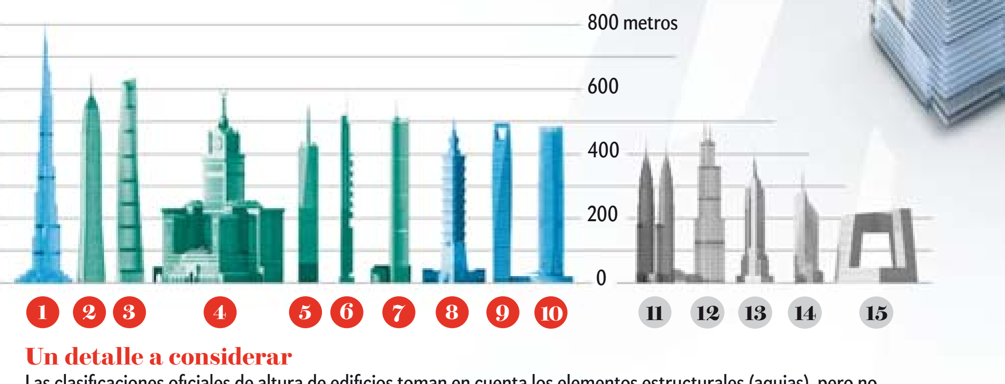
1. Oslo, Noruega
2. Doha, Qatar
3. Bergen, Noruega
4. Macao, China
5. Trondheim, Noruega
6. Bridgeport-Stamford, Connecticut
7. Hwaseong, Corea del Sur
8. Asan, Corea del Sur
9. San José, California
10. Yeosu, Corea del Sur

FUENTE: Instituto Global McKinsey

El horizonte de 2016

En 2001, las gemelas Torres Petronas, en Malasia, representaban las construcciones más altas del mundo, pero hacia mitad del presente decenio ni siquiera figurarán entre las diez primeras. Los edificios que hoy se construyen ocuparán del segundo al séptimo puesto en la clasificación (por el momento, el Burj Khalifa sigue en una categoría exclusiva). La demanda mundial de rascacielos representativos no da señales de aplacarse. Abajo se ilustran los diez que alcanzarán mayor altura en 2016, junto con otros datos de interés.





Un detalle a considerar

Las clasificaciones oficiales de altura de edificios toman en cuenta los elementos estructurales (agujas), pero no antenas ni mástiles de banderas. Esta precisión sitúa a edificios como el WTC1 5 por delante del Pentominium 6, pese a la mayor altura del tejado del segundo.

Sigue el auge de la construcción

Al inicio del actual milenio, el mundo contenía 22 edificios que superaban los 300 metros de altura. Un número igual de rascacielos se culminarán solo en el presente año.

FUENTE: CONSEJO DE EDIFICIOS ALTOS Y HÁBITATS URBANOS (*gráfico*); BRYAN CHRISTIE (*ilustración*)

llones de dólares en un edificio, sin duda recurrirá a alguien con experiencia», afirma Willis.

Desde ese conservadurismo esencial, no debe extrañar que los avances en el diseño y la ingeniería de la estructura básica de los rascacielos en el pasado decenio hayan sido más bien de carácter cuantitativo que cualitativo. En realidad, según Robertson, apenas se han realizado progresos en el diseño estructural. Uno de los nuevos rascacielos de mayor impacto visual es una rutilante torre residencial situada en el Bajo Manhattan, de 76 pisos y 265 metros de altura, planeada por el arquitecto Frank Gehry. Su irregular fachada de acero se asemeja a una escultura de Bernini, según el propio Gehry, aunque su estructura resulta bastante corriente.

Los terremotos siguen planteando un serio desafío a los ingenieros de estructuras. En las zonas sísmicas, los edificios altos han de poseer la suficiente rigidez para aguantar el elevado peso y estar dotados de una flexibilidad que les permita oscilar cuando la tierra tiemble. Según Leonard Joseph, especialista en estructuras para supertorres de la empresa de ingeniería Thornton Tomasetti, un gran peso y rigidez empeoran la situación, porque la masa del edificio reproduce las fuerzas sísmicas experimentadas.

Las estructuras flexibles y ligeras adaptadas a las zonas sísmicas deben también resistir la presión de los vientos. Entre las soluciones más imaginativas a este dilema figuran los amortiguadores de masa, como el que Joseph y su grupo de Thornton Tomasetti diseñaron para el Taipéi 101, el edificio más alto del mundo hasta el año pasado. Una bola de acero de 660 toneladas suspendida del piso 92 reduce al mínimo el incómodo balanceo: al oscilar en oposición al edificio, presiona en uno y otro sentido contra gigantescos absorbedores de choque que convierten en calor inofensivo el movimiento del rascacielos.

Aunque contraríe la intuición, el hecho es que durante un seísmo los edificios altos de hoy presentan ciertas ventajas sobre los más bajos. Según Joseph, cuando la tierra tiembla de repente, el rascacielos absorbe por deformación las sacudidas bruscas, mientras que un edificio bajo no puede hacerlo, ya que la oscilación necesaria para poder absorberlas resultaría excesiva en una altura tan reducida.

EL CASO MÁS DESFAVORABLE

Por descontado, la tragedia del 11-S nos ha enseñado que la construcción de edificios altos debe contemplar otros enemigos, además de terremotos y huracanes. Sin embargo, la protección que puede brindar el diseño de rascacielos frente a los ataques terroristas tiene ciertos límites, sobre todo si se considera el tamaño y la velocidad de las aeronaves actuales. Las Torres Gemelas fueron ideadas para resistir el choque de un Boeing 707, que pesa un 20 por ciento del Airbus A380, el mayor avión de pasajeros hoy día.

Un mes después de los ataques, Robertson se veía de nuevo en Hong Kong, obligado a explicar esa realidad a una nerviosa corporación de promotores urbanos. Las semanas transcurridas le habían hecho ganar cierta perspectiva, y ahora estaba preparado para la defensa de los rascacielos. «Ante todo hay que asegurar que los aviones no se acerquen a los edificios, no planear los edificios para que aguanten ese encuentro.»

Con todo, los arquitectos e ingenieros no pueden escurrir el bulto. Se ha dado así una gran prioridad a mejorar los sistemas de comunicación con los aviones de combate, en parte mediante la instalación de repetidores de radio en las escaleras de acceso a las torres. Según Gottesdiener, desde los sucesos del 11-S se atiende más a la seguridad de la vida humana.

Por otro lado, muy pocos de los extraños sistemas de evacuación presentados en la oficina de patentes han sido acogidos por los diseñadores. Los ingenieros de estructuras suelen considerarlos poco prácticos. Según Guy Nordenson, profesor de arquitectura en la Universidad de Princeton, el edificio debe ofrecer a las personas la oportunidad de abandonarlo de la manera convencional, con entera seguridad.

Se empieza ahora a incluir en el diseño un elemento que refuerza la seguridad: la comunicación entre edificios a través de puentes elevados, una idea que se remonta a principios del siglo xx. Varias propuestas para la Zona Cero no realizadas introducían esos pasillos. El ejemplo más destacado es la sede de la Televisión Central China, cuyas dos



De nuevo en pie: **Tras años de burocracia, acusaciones y procesos legales, el World Trade Center Uno se levanta con rapidez. A mediados de julio, se trabajaba ya en el piso 74.º (del total de 104).**

AP IMAGES

torres alzadas se unen en el aire formando un ángulo obtuso.

Con ello se consigue no solo un efecto visual sugestivo, sino el acceso a múltiples salidas de emergencia ante incendios u otras catástrofes. «El edifico puede abandonarse desde cualquier punto, después de bajar o subir pisos, según convenga», aclara Nordenson, responsable de la ingeniería de un proyecto aún más ambicioso en Pekín, el complejo Linked Hybrid («Híbrido enlazado»), según principios similares. Concebido por Stephen Holl, arquitecto de la ciudad de Nueva York, este inmueble comprende 644 apartamentos, un hotel, una sala de cine e incluso una escuela Montessori en sus ocho torres, conectadas todas por pasillos aéreos.

Los edificios impresionantes de hoy se diseñan con la ayuda de un soporte lógico que no solo está cambiando el aspecto de los rascacielos, sino también su funcionamiento. Las técnicas de emulación informatizadas permiten a los arquitectos ajustar sus esbozos al instante. Igualmente revulsiva ha resultado la introducción de los programas emuladores de la información del inmueble; los arquitectos pueden integrar así los complejos sistemas mecánicos del rascacielos (exigencias de calefacción, refrigeración, entrada y salida de personas y materiales) en las primeras etapas del proceso de diseño. Esas mismas técnicas permiten a los gerentes del edificio comprobar la reacción de sus ocupantes ante situaciones especiales, como una alarma de incendio y, en virtud de ello, mejorar su comportamiento.

EL FACTOR ESCALA

El cambio más profundo experimentado por los rascacielos en el último decenio tal vez no se relacione con el diseño de los propios edificios ni con su tamaño, sino con la opinión que poseemos de ellos. En un tiempo no muy lejano, se entendía que un rascacielos era en la construcción lo que un vehículo todoterreno en la automoción: un ejemplo de derroche de energía y recursos ambientales.

«La idea de que los rascacielos son ecológicos se opone a lo que se pensaba hace solo diez años», señala Terence Riley, conservador de la exposición de edificios altos representativos celebrada en 2004 en el Museo de Arte Moderno de Nueva York. Para numerosas personas, la vida ecológica significa vivir en el medio rural, aunque lo cierto suele ser lo contrario. Los residentes en núcleos densos de población, como Nueva York o Chicago, consumen mucha menos energía per cápita que los habitantes de zonas suburbanas o rurales.

La alta densidad y la reducción de la expansión urbana desordenada conllevan claras ventajas ambientales, al agrupar en una sola huella compacta los espacios donde se habita y se trabaja, proclama el arquitecto británico Norman Foster, a quien se ha encargado el diseño de distintos edificios gigantes. La sede del Commerzbank en Fráncfort, que él terminó en 1997, suele considerarse como el primer rascacielos «ecológico», notable por su sistema de ventilación natural, la espiral de jardines a cielo abierto y las zonas de trabajo con luz de día.

Según Foster, cuanto más se alce un edificio, más provecho se obtendrá de las economías de escala. La agrupación de diferentes funciones permitirá equilibrar las necesidades energéticas entre esos usos, lo que generará aún más beneficios ambientales. Y quizá lo más importante: un rascacielos, ubicado en una zona céntrica, fomenta el desarrollo y el uso de los sistemas de transporte público.

El edificio de oficinas más respetuoso con el entorno en EE.UU. es la torre del Bank of America, un pilón blanco de 366 metros de altura, de coronación asimétrica, justo a una manzana de Times Square. Representa el primer rascacielos comercial que ha recibido la certificación «platino» de Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED), la de más alto nivel que concede el Consejo de Construcción Ecológica estadounidense.

La torre del Bank of America crea dos tercios de la energía que consume (posee un generador de gas natural), filtra los compuestos volátiles del aire entrante y recupera el agua pluvial. Sus ventanas se extienden del suelo al techo y poseen aislamiento térmico y divisiones interiores del vidrio; favorecen así la entrada de luz de día y ofrecen vistas al exterior a una gran parte de los ocupantes. En el sótano inferior, unos refrigeradores congelan todas las noches el agua de 44 enormes tubos, de tres metros de altura y dos metros y medio de diámetro cada uno. Durante el día, esas ingentes baterías de hielo se funden, con lo que contribuyen a una parte apreciable de la climatización del edificio. De este modo, el consumo de energía se traslada a horas nocturnas, con el consiguiente ahorro.

Robert F. Fox, Jr., socio de Cook + Fox Architects, diseñadores del edificio, recalca que la característica esencial para la sostenibilidad de la torre es su ubicación. «Ya no podemos permitirnos los desplazamientos individuales en coche para acudir al trabajo», afirma. «En el futuro, las casas de tres pisos en las afueras impedirán alcanzar una densidad suficiente, el acceso eficaz al transporte público y la congregación de numerosas personas para realizar tareas comunes.»

Lo anterior es bien cierto. En radical oposición a la terrible predicción de Petroski a raíz del 11-S, parece que aunque los medios sociales consuman una gran parte de nuestro tiempo —o tal vez por esa razón—, los deseos de contacto humano que satisfacen las ciudades (y dentro de ellas, los rascacielos) resultan más fuertes que nunca. Incluso Google, vehículo estándar de la economía digital, invirtió hace poco 1800 millones de dólares en un nuevo edificio en Manhattan —aunque solo de 15 pisos.

Cada vez más personas anhelan ese tipo de contacto humano, o al menos los empleos que generan las ciudades. Según el CTBUH, cada semana se trasladan a centros urbanos alrededor de un millón de personas. Wood proclama que las ciudades deben crecer hacia arriba. Algo que ya están haciendo.

PARA SABER MÁS

Form follows finance: Skyscrapers in New York and Chicago. Carol Willis. Princeton Architectural Press, 1995.

Los edificios más altos del mundo. Cesar Pelli, Charles Thornton y Leonard Joseph en *Investigación y Ciencia*, febrero de 1998.

Skyscrapers: Structure and design. Matthew Wells. Yale University Press, 2005.

Council on tall buildings and urban habitat: **www.ctbuh.org**

Museo del Rascacielos: **www.skyscraper.org**

La opinión de la calle

¿Qué innovación mejoraría la habitabilidad de una ciudad? Hemos planteado la pregunta a dirigentes urbanos y a nuestros lectores. Esto es lo que respondieron

Michael Easter y Gary Stix

El paraíso de los móviles

La comunicación es la clave del futuro. Las ciudades venideras deberían tratar al ciudadano de forma personal. Nuestros móviles pueden convertirse en dispositivos capaces de abrir la puerta de casa, pagar el billete de metro, hacer compras y proporcionar acceso ilimitado a Internet con solo apretar una tecla e introducir una contraseña.

—**CRAIG BRAQUET,** Long Beach, California

Ventanas como paneles solares

Las ciudades de todo el mundo serían más habitables si los vidrios de las ventanas se reemplazaran por paneles solares semitransparentes, los cuales —al menos, rudimentarios— existen desde hace años. La energía generada se distribuiría por toda la urbe, con lo que disminuirían el coste energético, nuestra dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de carbono.

Esa energía podría usarse para el transporte público, lo que abarataría su precio. Un transporte público económico, accesible y amplio reduciría el tráfico de vehículos motorizados y, por ende, las emisiones de gases de efecto invernadero.

—**HOLLY UBER,** activista política e historiadora, Melbourne, Australia

Cables de luz

Es hora de que las ciudades faciliten banda ancha en fibra óptica, rápida y fiable, a viviendas y empresas. Cuando cambiemos los módems telefónicos por los de cable, se producirá una revolución en la economía y en la manera de relacionarnos. La velocidad que permite la fibra óptica propiciará plataformas innovadoras y creaciones que hoy no podemos imaginar. Es la pieza que falta para lograr una ciudad más próspera y habitable en el siglo XXI.

—**MIKE McGINN,** alcalde de Seattle

Acabar con los atascos

Se podrían tomar datos con distintos sensores (teléfonos móviles, señales de vigilancia, dispositivos [de radiofrecuencia] en automóviles, etcétera) y crear algoritmos para acompasar el funcionamiento de los semáforos y evitar atascos, facilitar que los autobuses circulen de forma más eficiente e indicar a los conductores dónde aparcar el coche.

—**CHARLES D. LINN,** escritor, editor y arquitecto

Planes estratégicos

La localización de las infraestructuras (viviendas, carreteras, sistemas de agua, parques y demás) ejerce un impacto enorme en la habitabilidad de una urbe. Llevar a cabo estas obras de forma más estratégica generaría en un entorno más limpio y saludable, barrios más transitables y otros beneficios; todo ello, con menor coste para el contribuyente.

—**LISA P. JACKSON,** gerente de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.

iCities en el desierto

Las ciudades deberían diseñarse con un número máximo de habitantes en mente, lo bastante grande como para absorber el aumento de población durante 100 años. Dado que resultaría difícil adaptar las ciudades actuales, la idea debería aplicarse a ciudades modelo construidas en el desierto por Apple, Microsoft u otras multinacionales.

—**MIKE KURILKO,** Ocala, Florida

El huerto en casa

Los jardines de casas y edificios deberían limitarse al cultivo de alimentos o de especies autóctonas.

—**BLAINE M. OSBORNE,** Salt Lake, Utah

Más excusados

En los países en vías de desarrollo, mil millones de personas viven en barriadas pobres, una cifra que se duplicará durante los próximos decenios. Las necesidades más apremiantes son la higiene (agua salubre) y un lugar limpio y privado para orinar y defecar. Por ello, la Fundación Bill y Melinda Gates invitó a 22 instituciones (desde el Instituto de Tecnología de California hasta universidades de Brasil y Sudáfrica) a «reinventar el inodoro».

—**STEWART BRAND,** fundador del *Whole Earth Catalog* («catálogo de toda la Tierra») y cofundador de la Fundación Long Now y de Global Business Network

Agua, agua en todas partes

Las metrópolis de la antigüedad, como Persépolis, Atenas y Mohenjo-Daro, contaban con unos magníficos sistemas de distribución de agua y de eliminación de aguas residuales. En mi país, el urbanismo puede medirse por el número de grifos que proporcionan agua salubre y por el tratamiento de las aguas fecales. Voto por mejorar todos los sistemas de distribución de agua; creo que convertiría a cualquier ciudad en un lugar más habitable.

—**PRADIPTO BANERJEE,** estudiante de postgrado de la Universidad VIT, India

Un lugar donde sentar la cabeza

En Vancouver, la gran cantidad de indigentes ha erosionado la habitabilidad de la ciudad. Me gustaría ver modelos —enfatizo el plural— de viviendas que atraigan a estas personas. Para ello, es necesario entender la causa de sus problemas. A este sector pertenecen quienes sufren trastornos de salud mental, drogadicción, alcoholismo, pobreza, desempleo o abandono del hogar. Difieren en sus necesidades, por lo que no podemos tratarlos a todos por igual. Si disponer de un lugar cómodo y seguro donde sentar la cabeza no es un derecho inalienable, debería serlo. Con una ciudadanía sana y productiva, lo demás llega solo.

—**JAY PELTON,** Vancouver BC

Sensores inteligentes

Los sensores pueden servir para muchos propósitos: mejorar la eficiencia de las señales de tráfico, medir y reducir nuestras emisiones de carbono o vigilar nuestra salud. El tamaño cada vez menor de estos dispositivos y la generalización de su uso harán posible estas mejoras.

—**PARAG KHANNA,** investigador jefe de la Fundación New America y autor de *El segundo mundo: Imperios e influencia en el nuevo orden mundial* (Ediciones Paidós Ibérica, 2008)

Cirugía estética

Un cambio de imagen total. Las ciudades generan alrededor del 80 por ciento de la contaminación por carbono. En Sídney hemos decidido reducir las emisiones en un 70 por ciento entre 2006 y 2030 mediante la remodelación del centro con diferentes técnicas.

En nuestro caso, la innovación no se debe a la tecnología en sí, sino a su aplicación a escala urbana. Se diseñarán planes maestros para dotar a la ciudad de zonas con bajas emisiones de carbono, en las que se instalarán sistemas de trigeneración de energía (que combinan electricidad, refrigeración y calefacción), de tratamiento de aguas, así como otros de recogida y uso automatizados de residuos. Aunque estas técnicas no sean nuevas, aunar «infraestructura verde» a escala urbana es hoy una prioridad en Australia.

La energía que llega a Sídney proviene de centrales térmicas situadas a más de 200 kilómetros. Nuestro objetivo es que la ciudad deje de alimentarse de la red eléctrica nacional. El 70 por ciento de la potencia provendrá de fuentes locales descentralizadas y, el resto, de energías renovables. Los informes provisionales sugieren que solo la red de trigeneración podría recortar las emisiones de carbono de los edificios entre un 40 y un 60 por ciento. Ello reducirá tanto el coste de transportar electricidad como la necesidad de ampliar la red para satisfacer demandas futuras.

—**CLOVER MOORE,** alcalde de Sídney, Australia

Metro personalizado

Una de las claves para crear una ciudad más habitable reside en innovar en el transporte. Una de las ideas con gran potencial para mejorar la calidad de vida es un transporte individual rápido: en esencia, un sistema de metro personalizado. Consta de cápsulas que transportan a un pequeño grupo de personas, sin paradas y sin esperas en estaciones. Facilitar los desplazamientos fomenta la interacción entre ciudadanos y propicia una ciudad más habitable y productiva.

—**SAMUEL ARBESMAN,** investigador de la Fundación Ewing Marion Kauffman y creador de Mesofacts, una iniciativa diseñada para concienciar sobre los cambios graduales en nuestra vida diaria

Ir a trabajar en fila india

Propongo la integración total del transporte público y el privado. Para desplazarse al trabajo, los ciudadanos conducirían sus pequeños vehículos eléctricos, propios o alquilados, hasta una estación en la que se unirían a otros coches, formando un «tren» que funcionaría con la red eléctrica. Esta fila transitaría con rapidez y cargaría las baterías en el camino. En su estación de destino, los coches se desacoplarían y cada uno se dirigiría hacia su lugar. Las estaciones se encontrarían muy espaciadas, ya que los últimos kilómetros se recorrerían con el vehículo particular.

—**LAURIE McGINNESS,** Nueva Gales del Sur, Australia

Lecciones de sostenibilidad

El transporte público debe ser prioritario y poner a disposición de los usuarios vehículos pequeños y no contaminantes, como hizo París con el sistema municipal de alquiler de bicicletas Vélib'. Los ciudadanos deben implicarse utilizando menos el automóvil, reciclando la basura, viviendo cerca del trabajo —o trabajando cerca de casa— y educando a sus hijos en la sostenibilidad. Los niños son extraordinarios agentes de cambio.

—**JAIME LERNER,** exalcalde de Curitiba, Brasil, que durante su primera legislatura, a principios de los setenta, puso en marcha un innovador sistema de transportes que ha sido imitado en todo el mundo

Electricidad ubicua

Los centros urbanos de los países pobres se encuentran masificados debido a la falta de infraestructuras que padecen las áreas rurales. Los generadores Micro CHP, cuyas fuentes de energía abarcan desde la energía termosolar hasta el biogás, mejoran la calidad de vida en el campo gracias al aporte de infraestructura eléctrica. Ello promete reducir la superpoblación en las áreas urbanas y mejorar su calidad de vida a largo plazo.

—**IQBAL Z. QUADIR,** director del Centro Legatum para el Desarrollo y el Espíritu Empresarial del Instituto de Tecnología de Massachusetts y promotor de la idea de dotar de acceso telefónico universal a las clases pobres de Bangladesh

Recolectar la fruta caída

Ya era entusiasta de la eficiencia energética mucho antes de oír hablar del cambio climático. Siempre que mi mujer y yo nos mudábamos, comprobaba que el techo estuviera bien aislado, revisaba los marcos de puertas y ventanas en busca de entradas de aire y colocaba un termostato programable cuando era necesario. Si había que cambiar el calentador de agua, instalábamos uno sin tanque, con lo que el consumo de gas en verano se reducía en un 50 por ciento.

Ahora, estas medidas se denominan climatización. Yo lo llamaría «ahorrar dinero ahorrando energía». Durante los próximos decenios, la eficiencia energética será una de las opciones más baratas para reducir las emisiones de carbono sin comprometer por ello el crecimiento económico. El modo más fácil y rápido de reducir las emisiones es hacer más eficientes los electrodomésticos, automóviles y viviendas. La eficiencia energética no es solo una fruta madura, es una fruta en el suelo. En los próximos años espero ayudar a millones de familias a aprovechar la oportunidad de ahorrar dinero en la factura de la luz gracias a la eficiencia energética de sus viviendas y electrodomésticos, al tiempo que ganan en bienestar.

—**STEVEN CHU,** secretario de Energía de EE.UU.

Mejor información en Internet, por favor

Mejorar la planificación urbanística, las políticas públicas y la educación podría ser la solución, pero, en el actual sistema chino, tales cambios resultarían caros y difíciles de implementar. Shanghái no es tan compacta como otras áreas metropolitanas, pues sus 20 millones de habitantes se reparten en una región muy extensa. Ya padecemos algunos problemas graves, como intensos atascos de tráfico, masificación en las zonas públicas, escasez en la oferta de vivienda, contaminación ambiental y un rápido aumento de las emisiones de carbono.

Cuando recurro a la ciencia en busca de soluciones, observo que Internet y otros medios de comunicación son, en realidad, los que muestran mayor potencial para propagar información útil y para capacitar a los ciudadanos a la hora de tomar decisiones eficientes y beneficiosas. Este debería ser el objetivo principal para los técnicos en gestión urbanística.

—**PAN HAOZHI,** estudiante, Universidad Tongji, Shanghái

Zonas sin coches

Propongo abolir el automóvil particular en el centro de las ciudades (o en las zonas muy urbanizadas) y redirigir la inversión de capital privado que acapara dicha industria hacia el transporte público, la remodelación de las calles, aparcamientos, vivienda, parques y agricultura urbana.

Sugiero redefinir el concepto de ciudad y empezar a planificar en consecuencia. Hemos de ver las ciudades como ecosistemas humanos y admitir que el componente productivo complementario —y, posiblemente, el más importante— de dicho ecosistema es el área de influencia de la urbe, que en ocasiones es cientos de veces mayor que la propia ciudad y que cada vez se dispersa más por todo el planeta.

La verdadera huella ecológica de la ciudad eclipsa a la del diminuto y tísico centro urbano. Esa gran huella resulta esencial para la supervivencia del núcleo urbano y, aun así, suele ser ignorada.

—**WILLIAM REES,** profesor de la Universidad de Columbia Británica y creador del concepto de huella ecológica, un indicador del impacto del ser humano sobre los ecosistemas

Crecimiento inteligente

Las medidas de «crecimiento inteligente» crearían lugares más sostenibles. Esta propuesta para combatir la expansión incontrolada de una ciudad consiste en construir viviendas y empresas en el núcleo urbano y sus alrededores. En Maryland, el antiguo gobernador Parris Glendening promovió la histórica ley estatal de crecimiento inteligente en 1977. Esta ley crea áreas de financiación prioritarias que dictan dónde recaerá la inversión pública de nueva infraestructura. Estas zonas se encuentran cerca de grandes ciudades, lo que anima a la urbanización —y reurbanización— cerca del centro urbano y blinda los espacios verdes y agrícolas de la periferia.

—THOMAS VICINO, profesor de la Universidad Noroccidental y coautor de *Cities and suburbs: New metropolitan realities in the US* («Ciudades y suburbios: Nuevas realidades metropolitanas en EE.UU.», Routledge, 2010)

Intermetrópolis

Vaticino una red de ciudades futuras ubicadas estratégicamente por todo el continente. El diseño sería tal que les permitiría no solo autoabastecerse (gracias a la energía eólica, hidroeléctrica, solar, geotérmica o biológica), sino abastecer a otras urbes cercanas con el excedente energético.

—CHRISTIAN CARR, Kristiansand, Noruega

Abajo el carbón

Hay que acabar con la quema de combustibles fósiles en las ciudades.

—BRUCE STERLING, escritor de ciencia ficción y padre del género *cyberpunk*

Agrupaciones

Las urbes deberían construirse cerca de sus recursos, como terrenos agrícolas e industriales. En ellas, debería haber agrupaciones de edificios altos para que la mayor parte del suelo quede libre, en su estado natural, y los vecinos puedan disfrutar de parques urbanos. Cada edificio o agrupación de ellos contaría con los servicios básicos, como comercios, administraciones, instalaciones deportivas, etcétera. Una densidad elevada simplificaría el transporte y las redes de servicios públicos, al tiempo que permitiría un fácil acceso al entorno natural, que solo supondría —literalmente— un paseo en ascensor.

—VÍTOR PEREIRA, Porto, Portugal

Cohesión social

Desde que hay ciudades, existen las desigualdades en el acceso a los recursos sociales y ambientales. Las ciudades no pueden ser habitables ni sostenibles sin políticas encaminadas a acabar con el consumo desaforado y las divisiones sociales. No es una innovación imposible; solo una difícil y que jamás hemos intentado implementar.

—CAROLYN STEPHENS, Escuela de Higiene y Medicina Tropical de Londres y Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

Tesoreros populares

Los «presupuestos participativos» implican al ciudadano en las resoluciones municipales. Descentralizan la toma de decisiones, al separar el presupuesto por barrios, y responsabilizan a los residentes en el establecimiento de las prioridades de gasto y en la elección de un consejo de delegados que rinda cuentas. La experiencia muestra que este sistema logra un uso más eficiente de los fondos públicos, el consenso sobre las inversiones en barrios marginales y una caída drástica de la corrupción. Este cambio de las reglas del juego hace que personas y grupos antaño privados de sus derechos formen parte de las negociaciones y estimula la colaboración.

Porto Alegre empezó a experimentar con presupuestos participativos en 1989. Desde entonces, el sistema ha mejorado y se ha adaptado a más de 1200 municipios en Brasil, Latinoamérica, África, Asia, Europa y Norteamérica.

—JANICE PERLMAN, presidenta del proyecto internacional Mega-Cities, una organización sin ánimo de lucro que identifica y difunde innovaciones urbanas exitosas

Una Internet de objetos

Necesitamos más dispositivos inteligentes. La próxima generación de ciudades se beneficiará de los avances técnicos y gozará de más información, de una mayor capacidad de respuesta y, en última instancia, de mejores medios. Ya se aprecian indicios de esta transformación. Una «Internet de objetos» haría posible indagar sobre nuestro entorno del mismo modo en que hoy buscamos en la Red. La monitorización de los ciudadanos gracias a los teléfonos inteligentes permitirá disponer, en tiempo real y a bajo coste, de datos de enorme utilidad. A largo plazo, una ciudad más inteligente nos permitiría controlar numerosos aspectos cotidianos, puesto que podríamos adaptarla a nuestros hábitos y preferencias. La clave residirá en diseñar esta nueva inteligencia urbana para crear una ciudad mejor, con una transparencia que asegure la privacidad y en la que optar por no participar de ella resulte fácil.

—DANA CUFF, directora de cityLAB, profesora de arquitectura y diseño urbano de la Universidad de California en Los Ángeles y autora de *The provisional city: Los Angeles stories of architecture and urbanism* («La ciudad provisional: Historias de arquitectura y urbanismo en Los Angeles», MIT Press, 2002)





William Gibson
es escritor de ciencia ficción. Considerado el padre del género *cyberpunk*, se ha servido de elaborados contextos urbanos para centrar en ellos sus intrincados mundos de fantasía.

Vida en la metaciudad

El autor de *Neuromante* afirma que recorremos una línea que media entre el albedrío anárquico y la «disneyficación»

William Gibson

Mi primera ciudad fue el Londres de Conan Doyle, que recorrí en compañía de Holmes y Watson. Mi madre me había regalado una recopilación en dos volúmenes cuando cumplí los diez años. Londres representaba una máquina vasta, plácida, populosa, un reconfortante mecanismo de relojería. Extranjeros y criminales le conferían un toque picante, al turbar la presunta seguridad y buen orden de la capital del Imperio —siempre que se perteneciera a una clase acomodada, como resultaba habitual en las novelas de Doyle.

Viví mi infancia en el sudoeste rural de Virginia. Las ciudades más cercanas, que distaban varias horas, eran de tamaño modesto. Poco de lo que contemplaba en el televisor me aportaba una idea clara de la realidad urbana, tal vez debido a las dificultades que aún existían para filmar en grandes ciudades. Excepto en Los Ángeles, que vi hasta el hartazgo —una urbe que, por otro lado, nunca ha ocupado un lugar importante en el mapa de ciudades de mi imaginación.

Me formé un concepto de vida urbana al invertir la idea de ciudad rica e intrigante (y plácida) de Doyle. Mientras caminaba por mi pueblo, me lo imaginaba una ciudad. Lo que me figuraba entonces, ahora me doy cuenta, no conllevaba un aumento de las dimensiones, sino del número de posibilidades.

Las ciudades permitían mucho más que las aldeas o pueblos, al multiplicar el número y los azares de contactos humanos o culturales. Constituían maquinarias vastas y polifacéticas que ofrecían la libre elección; lugares habitados, sobre todo, por desconocidos.

En una ciudad nunca se sabe a quién vamos a encontrar o conocer. En un pueblo resulta menos probable topar con personas, cosas o situaciones nunca antes vistas. Personas y situaciones que pueden ser maravillosas u horribles en ambos sitios. Pero en las ciudades existe abundancia, renovación. Algo que le conviene en grado sumo al novelista, pues le permite enmascarar, con diversa verosimilitud, el exceso de casualidad, y producir, como Doyle me enseñó, lo que la narrativa pueda exigir.

Y si el populoso mecanismo de la ciudad ficticia no alcanzase a producir fenómenos lo bastante insólitos, nuestra fantasía literaria recurrirá a las ciudades muertas, los artificios que más profunda y misteriosamente nos obsesionan.

Puede que muchas ciudades abandonadas nunca hayan favorecido el libre albedrío. Si nos situamos en la grandiosa plaza precolombina de Monte Albán, nos percatamos de que la metrópolis se proponía limitar las opciones, restringirlas. Monte Albán era una máquina de control, un ambiente acústicamente perfecto, con magníficas líneas de visión: un escenario para el poder. Ignoramos por qué la ciudad fue abandonada tan de repente, según parece. Tal vez la exhibición de fuerza perdió al fin eficacia, y no había otra, ni cabía otra posible, en el marco de aquella estructura rígida y monofuncional.

Ese es el riesgo que entraña la reducción de opciones, el control jerárquico. Representa la maldición que pesa sobre las atracciones a puerta cerrada, la suerte última de cada Disneylandia: resulta imposible replantear la finalidad de un parque temático. Las ciudades, para sobrevivir, han de estar provistas de elementos de escape que favorezcan la adaptación retroactiva. Solo las urbes más nuevas carecen de la visión de sus propias ruinas. Berlín las ha visto; también Roma, Londres, Tokio y Nueva York. Cierto grado de ruina, una desertización parcial, constituye una fase corriente en el complejo y necesario desarrollo ur-

bano. Las ciudades con éxito —es decir, las que continúan— se alzan sobre un laqueado de un sinfín de capas: de vidas, de opciones encontradas y aceptadas.

Los estratos más críticos son aquellos donde se conjugan varias técnicas esenciales. Todas ellas han de hallarse presentes y funcionales en cierto grado para que una urbe perdure. No se empezó la construcción de ciudades hasta que no se pudo asegurar el adecuado suministro de alimentos, para lo cual se necesitaba cultivar y almacenar. Cuando la ciudad supera cierta dimensión resulta imprescindible dominar las técnicas de saneamiento. La ciudad evoluciona en una pirámide de técnicas, fundamentales algunas, accesorias otras.

Las urbes pueden alcanzar su máxima riqueza de experiencias en períodos de relativo desmantelamiento. Ciudades un tanto disfuncionales en unos aspectos resultan brillantemente funcionales en otros. La ciudad que anhela el joven creativo se halla en parte en ruinas, señalada por áreas semimoribundas en valor inmobiliario. Alquileres bajos, mínima presencia policial, reparaciones y soldaduras ocasionales en las aceras. El Manhattan de los años setenta, un lugar y un tiempo que la gente de mi edad contempla ahora con cierta nostalgia, amenazaba ruina: sus edificios se hallaban abandonados y sus noches, iluminadas por incendios provocados con vistas a cobrar el seguro. En mi primera observación al respecto, en 1979, propuse, medio en serio, que se consintiera a los japoneses poner orden allí, abrirles el paso a la propiedad inmobiliaria. Los neoyorquinos se mofaron de mi ingenuidad, sabedores de que el Bowery siempre sería el Bowery.

El Bowery de hoy nada tiene de Bowery.

Las ciudades poseen esa capacidad de recuperarse del desmantelamiento, de cambiar de marcha. Aunque al hacerlo, corren el riesgo de «disneyficarse», de constituirse de modo permanente en la visión que un día tuvieron de lo que deberían ser. París me causa esa impresión, con Nueva York y Londres apresurándose a alcanzarla.

Entretanto, empero, algunos de los mayores asentamientos humanos actuales constituyen lugares donde no solo se permite soldar en las aceras, sino que han eludido muchas de las formas de crecimiento urbano que europeos y norteamericanos han presumido necesarias: Río, Bombay, Nairobi, Estambul, ciudad de México... Vastos arrabales de chabolas, semi-neo-medievales en su estructura y condiciones. De tales ciudades emergerá el futuro con tanta certeza como lo hará de las ciudades disneyficadas del Viejo Mundo, en el que ahora también se ha de contar Norteamérica.

El futuro de las ciudades estará compuesto de esas dos modalidades, combinadas con esa metaciudad «ageográfica», y en gran parte inexplorada, que representa Internet.

Ya de muchacho me trasladé a una ciudad tan pronto como pude. Y en ellas he vivido desde entonces. Ahora, cuando viajo, elijo sobre todo ciudades como destino, y tiendo a retornar a las que ya conozco, para experimentar, en cada repetición, un goce más profundo. La idea de visitar una sola vez una ciudad fascinante me apena; raramente me voy de alguna sin preguntarme si volveré a verla. Pero gracias a nuestra experiencia ageográfica, nunca me hallo por completo en Londres, ni del todo en Tokio.

Hoy todos vivimos en la metaciudad, cualquiera que sea nuestra dirección física.



PARA SABER MÁS

El último libro de Gibson: **Zero History.** Berkley Books, Nueva York, 2011.

por Francisco Barradas Solas



Francisco Barradas Solas es profesor de física y química en secundaria. Comenzó a especializarse en la enseñanza y divulgación de la física de partículas en 2001, cuando entró en el programa para profesores de instituto del CERN.

La cámara de niebla

De fácil construcción y manejo, este instrumento permite adentrarnos en la física nuclear y de partículas

A mucha gente le da la impresión de que esas partículas de las que oímos hablar en los medios o en la escuela son menos reales que los coches o las piedras. Sin embargo, no es así. Al menos cuando se trata de los electrones, protones, muones, fotones y demás partículas que los físicos y otros científicos y técnicos detectan cada día, y cuyas energías y momentos miden.

Quizá la mejor forma de convencerse de la existencia de las mismas sea construir un detector en el que veamos con nuestros propios ojos las estelas que dejan las partículas a su paso: la cámara de niebla de difusión continuamente sensible, un aparato de fácil manejo que Alexander Langsdorf ideó hacia 1936.

En esencia, se trata de una caja hermética que contiene una mezcla de vapor de alcohol y aire. El fondo de la cámara se mantiene tan frío —por contacto con «hielo seco»— que se forma una capa de vapor por debajo de su temperatura de condensación (sobresaturado), en un estado inestable en el que cualquier ligera perturbación desencadena la formación de gotas de alcohol líquido.

Cuando atraviesan la cámara partículas dotadas de carga eléctrica y con energía suficiente (por ejemplo, muones), se forman iones que operan a modo de núcleos de condensación, sobre los que crecen gotas de alcohol. Se forman así estelas de niebla, muy similares a las de los aviones, a lo largo de la trayectoria de las partículas.

A continuación, describiremos el montaje y el funcionamiento de una cámara de niebla de difusión continuamente sensible. Muchos de nuestros consejos e indicaciones se basan en la práctica —cámaras que hemos construido y han funcionado—; otros, en la tradición —lo hicimos así porque así lo habían hecho otros.

Como base o cuerpo de la cámara puede usarse una pecera de plástico o vidrio. Lo principal es que las juntas sean estancas. Recomendamos las siguientes dimensiones: 20 × 15 centímetros de ancho y, más importante, entre 15 y 20 centímetros de alto —aunque hemos construido cámaras de 23 centímetros que han funcionado muy bien—. Encontraremos peceras de vidrio de entre 10 y 15 litros en hipermercados y tiendas de animales por menos de 20 euros.



CORTESÍA DE FRANCISCO BARRADAS

Para que en la cámara haya vapor de alcohol, pegaremos a lo largo del interior de la misma unas tiras de fieltro, o similar, de unos pocos centímetros de ancho. Estas tiras se empaparán luego en isopropanol (o también etanol o metanol) puro mediante una jeringa —cuidado, pues, con la elección del pegamento.

Se utilizan esos alcoholes porque son líquidos de baja presión de vapor (se evaporan con facilidad) y baja energía de ionización (favorecen la formación de núcleos de condensación). Además, no se congelan en contacto con la base fría de la cámara, lo que, para empezar, fastidiaría la visibilidad de las trazas.

Sobre cuál de los tres alcoholes es el más recomendable para la cámara, no hay acuerdo. Algunos dicen preferir el etanol bastante puro, porque presenta valores inferiores de tensión superficial y relación entre presión de vapor y presión de saturación. Sin embargo, todas nuestras cámaras han funcionado perfectamente con isopropanol puro. Encontraremos cualquiera de ellos en droguerías especializadas o distribuidores de productos químicos para la enseñanza o la investigación. Puesto que sus vapores son nocivos, la cámara debe montarse y usarse en lugares bien ventilados.

La cámara se cierra con chapa lisa de aluminio. Buscaremos una pieza de este material en algún taller de cerramientos metálicos y la cortaremos luego con herramientas de uso común para que tenga las mismas dimensiones que la base de la pecera. Para aumentar la visibilidad de las trazas, cubriremos la cara de la chapa que da al interior de la cámara con cinta aislante de color negro mate.

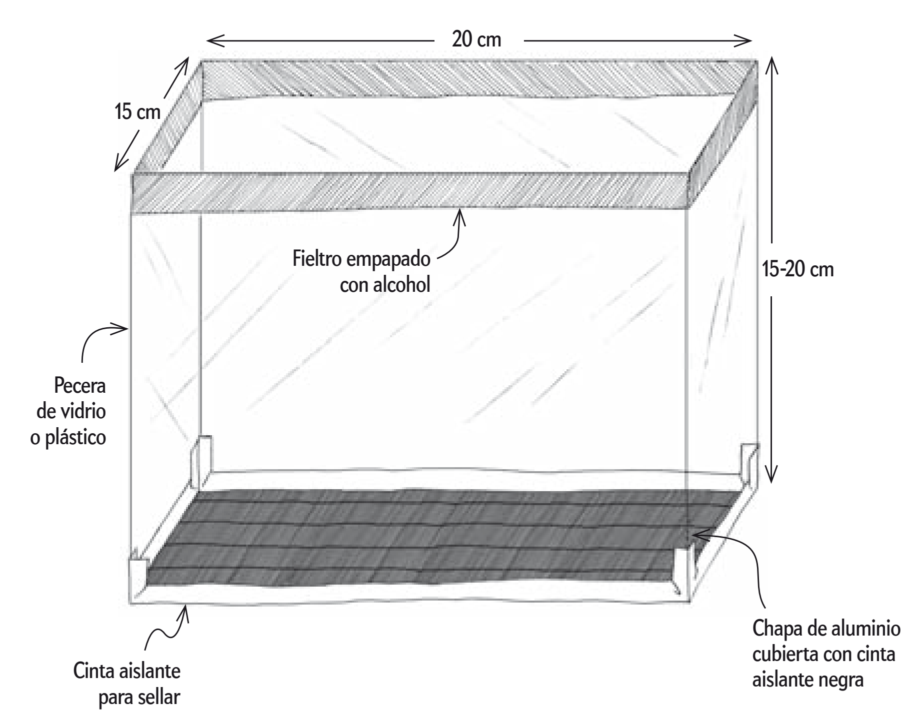
Es muy importante que el cierre de la cámara sea hermético. Normalmente basta sellarla con cinta aislante o cinta americana alrededor del perímetro de la chapa, de modo que quede bien adherida a las paredes laterales de vidrio y la cara exterior de la chapa. La chapa debe ajustarse a la base de la pecera tanto como sea posible. Elegiremos bien la cinta, teniendo en cuenta que el frío y la humedad condensada pueden afectarla.

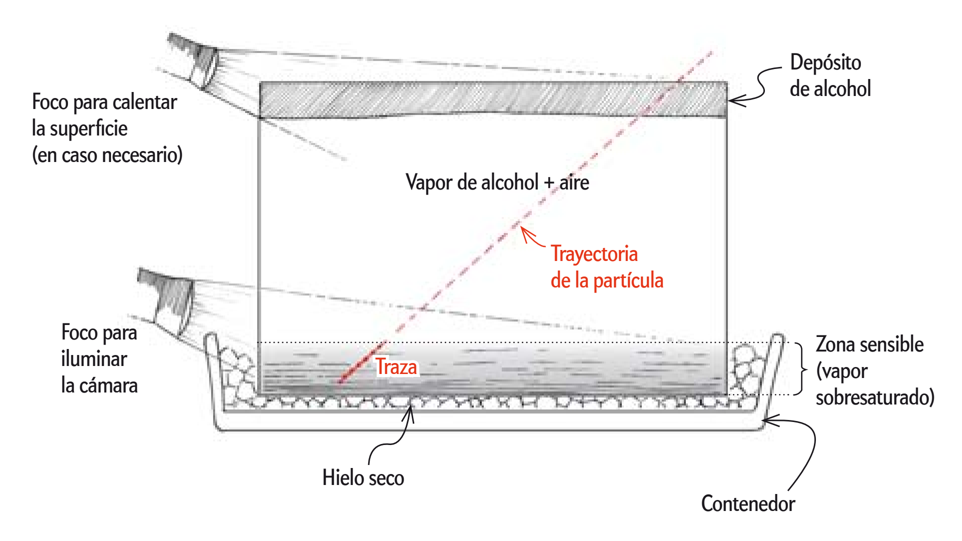
En caso de que la chapa fuera algo mayor que la base de la pecera, convendría colocar a lo largo del perímetro de su cara interna una tira de burlete de goma con un perfil semicircular y luego cerrar con cinta la cámara. Si la cámara es pequeña, bastará el burlete y un peso encima.

Por fin, colocaremos la cámara sobre un contenedor con hielo seco. Servirá como contenedor cualquier recipiente que se adapte al tamaño de la cámara. Sin embargo, por el buen aislamiento térmico que ofrecen, recomendamos las bandejas de poliestireno expandido («corcho blanco»).

El hielo seco (CO_2 sólido) es común en los laboratorios de investigación y los hospitales, donde se emplea para la conservación de muestras. Podemos encontrar proveedores de hielo seco en muchos polígonos industriales. También hay empresas que lo sirven a cualquier lugar. Para construir una cámara se necesita un mínimo de dos kilos, pero los pedidos mínimos suelen ser de diez; podemos realizar una compra conjunta con otros experimentadores que quieran construir una cámara o bien conservar el hielo sobrante uno o dos días para emplearlo en varias sesiones. Debemos tener precaución con este material a causa de su baja temperatura, de modo que no estará de más utilizar gafas y guantes protectores.

El buen funcionamiento de la cámara de niebla depende de un factor clave: nuestra capacidad de establecer y mantener un gradiente de temperatura suficientemente pronunciado entre el fondo y la parte superior del aparato. El gradiente térmico garantizará la difusión de vapor desde la superficie más caliente (arriba) a la más fría (abajo) a través de un gas inerte (aire, en este caso). Ello favorecerá la formación, cerca del fondo, de una «capa sensible» de vapor sobresaturado. Las temperaturas deben ser tales que en esa capa pueda producirse la condensación sobre los iones que se forman debido al paso de partículas dotadas de carga eléctrica y energía suficiente.





Para conseguir el gradiente térmico adecuado, la base de la cámara debe hallarse en posición horizontal y en buen contacto térmico con el hielo seco. Este se encontrará a su temperatura de sublimación a presión atmosférica (unos –79 ºC), por lo que deberemos usarlo pulverizado, en forma de placas o de fragmentos pequeños, como granos de arroz. Si se emplean otras presentaciones típicas (como los cilindros de alrededor de un centímetro de diámetro y varios de altura), es posible que la temperatura de la base no sea suficientemente baja. En este caso, se puede machacar el hielo seco (en una bolsa resistente y golpeándolo con un martillo) hasta reducirlo a fragmentos de un tamaño adecuado.

Por el contrario, la parte superior de la cámara, donde se halla el depósito de alcohol líquido (fieltro empapado), debe mantenerse caliente para asegurar un buen ritmo de evaporación. Por ello, evitaremos utilizar la cámara en ambientes fríos. Si es necesario, puede calentarse el «techo» de la cámara con una lámpara halógena.

Al cabo de unos diez minutos —a veces menos— de haber montado la cámara, empezarán a verse trazas en la capa sensible. El foco de luz que usemos para iluminar el dispositivo (sirven una lámpara halógena de escritorio, un proyector de diapositivas

PARTÍCULAS QUE DEJAN HUELLA



¿A qué corresponden las trazas que observamos en la cámara de niebla? Las estelas que vemos en el fondo de la cámara (*fotografía*) no son más que ristras de gotitas de alcohol; se forman sobre los iones (núcleos de condensación) que se generan cuando por ahí pasa una partícula con carga eléctrica y energía suficiente. La traza puede, pues, atribuirse a varios tipos de partículas. Sin embargo, con la configuración que aquí proponemos, lo más probable es que se trate de muones de los rayos cósmicos secundarios (véase la sección dedicada a los rayos cósmicos en «The review of particle physics», por K. Nakamura y sus colaboradores, en *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, vol. 37, n.º 7A, 2010, disponible en pdg.lbl.gov). También cabe la posibilidad de que observemos el paso de electrones derivados de la radiactividad ambiental. Estos son algunos de los fenómenos que podemos detectar.

Electrón
Muon

MUONES QUE SE DESINTEGRAN

Una de las mejores cosas que nos puede pasar es ver una traza que súbitamente cambia de dirección. Dado que el momento lineal se conserva, ese cambio de rumbo indica que algo le ha sucedido a la partícula autora de la señal. Posiblemente se trate de un muon que se ha desintegrado en dos neutrinos (indetectables) y un electrón.

Electrón
Muon
Muon

MUONES QUE CHOCAN CON ELECTRONES

Otra posibilidad, no menos interesante, será observar una traza que se bifurca. Podría corresponder a la colisión de un muon con un electrón atómico, que resulta expulsado del átomo.

Electrón

ELECTRONES QUE CHOCAN CON ÁTOMOS

Si detectamos una traza con múltiples cambios de dirección, podríamos hallarnos ante las múltiples colisiones de una partícula de baja energía (un electrón de la radiactividad beta ambiental) con los átomos del medio.

o una tira de LED) deberá dirigirse hacia el fondo con un ángulo pequeño.

Algunas personas pueden tener cierta dificultad en ver las trazas porque «no saben cómo mirar». Les aconsejo que no anden buscando señales por todas partes, sino que se fijen en una área concreta del fondo de la cámara hasta que perciban una fina lluvia de gotitas de alcohol que se han evaporado en la parte alta y luego condensado. Estas gotas no son lo que buscamos, pero nos ayudarán a localizar, sobre el fondo, unas condensaciones con forma de hilillo que aparecen de repente y se deshacen rápidamente: las anheladas trazas. Para una cámara de estas dimensiones, cabe esperar del orden de una traza cada pocos segundos.

Si bien cualquier partícula dotada de carga eléctrica y energía suficiente podría dejar su rastro en la cámara, dada la configuración que aquí se propone lo más probable es que los rastros detectados correspondan a muones de rayos cósmicos secundarios o electrones derivados de la radiactividad ambiental (*véase el recuadro* «Partículas que dejan huella»).

Si pasado un cuarto de hora todavía no hemos observado ninguna traza, deberemos repasar el montaje: ¿es estanca la cámara? ¿El fondo se halla bien iluminado? ¿Está demasiado fría la parte superior y, por tanto, hay que calentarla? ¿Está demasiado caliente el fondo y, por tanto, debemos aumentar el contacto térmico entre el hielo seco y la chapa?

Si aun así lo único que vemos es una niebla muy densa de gotitas de alcohol, abriremos el dispositivo para dejar salir un poco de niebla y lo volveremos a cerrar. Comprobaremos que la cámara se halle horizontal y libre de perturbaciones. Si tampoco funciona, habrá que pensar en cambiar la altura del aparato: lo volveremos a construir un poco más alto o más bajo. La altura es uno de los parámetros más importantes para el buen funcionamiento de la cámara de niebla (influye sobre el gradiente térmico y la evolución del alcohol que se evapora). Pero no es el único. Influyen también otros factores que dependen unos de otros de forma compleja (distribución de temperaturas, concentración de alcohol, etcétera). Si el depósito de alcohol está muy alto, por ejemplo, puede que no se obtengan trazas.

Existe la posibilidad de incorporar a la cámara una fuente radiactiva. Se trata de una variante del experimento sumamente interesante. La mayor dificultad estriba en obtener un material seguro y suficientemente activo. Recomendamos intentarlo con el granito.

Otra opción consiste en añadir al dispositivo un imán potente, de los que solemos llamar «de neodimio», con la esperanza de observar la curvatura de la trayectoria de una partícula en el campo magnético del imán. Se trata de un buen ejercicio, sobre todo si viene precedido de un estudio teórico cualitativo de lo que cabe esperar. (A partir de 2.º de Bachillerato es posible con la ayuda del profesor.)

Para terminar, cabe remarcar que la cámara de niebla aquí descrita es un instrumento muy fácil de construir, de manejo sencillo, precio asequible (menos de 100 euros) y con enormes posibilidades didácticas y de divulgación. No debería considerarse un mero espectáculo curioso. Constituye una puerta de entrada a la física nuclear y de partículas.

Artículo adaptado del trabajo ganador del Premio en la modalidad de Experimentos del I Concurso de Divulgación Científica del Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN) 2010.

PARA SABER MÁS

Continuously Sensitive Diffusion Cloud Chambers. E. W. Cowan en *Review of Scientific Instruments*, vol. 21, n.º 12, págs. 991-996, diciembre de 1950.

Cámara de niebla de gradiente de temperatura. J. Andrade Herrera, R. P. Martínez y Romero, y C. E. Vargas Madrazo en *Revista Mexicana de Física*, vol. 39, n.º 4, págs. 610-616, 1993.

La página web de Andrew Foland contiene una guía clásica para la construcción de cámaras de niebla caseras: **www.lns.cornell.edu/~adf4/cloud.html**

La página web del autor contiene más referencias bibliográficas e información sobre las aplicaciones didácticas de la cámara de niebla: **palmera.pntic.mec.es/~fbarrada/niebla_casera.html**

FRANCISCO BARRADAS (*traza*)

por Gabriel Uzquiano

Gabriel Uzquiano es profesor de filosofía en la Universidad de California del Sur.



Paradoja sin circularidad

Cómo formular versiones no circulares de paradojas de la verdad y la denotación

¿Qué cree usted que tienen en común las siguientes paradojas semánticas?

Paradoja del mentiroso

Esta aparece cuando nos preguntamos sobre el valor de verdad de enunciados como el siguiente:

(1) El enunciado (1) no es verdadero.

Para analizarlo, basta con notar que:

(i) El enunciado (1) es «el enunciado (1) no es verdadero».
(ii) El enunciado «el enunciado (1) no es verdadero» es verdadero si y solo si el enunciado (1) no es verdadero.

Supongamos ahora que el enunciado (1) es verdadero. Se sigue de (i) que:

«El enunciado (1) no es verdadero» es verdadero.

Pero (ii) nos dice que ese solo puede ser el caso si el enunciado (1) no es verdadero. Por tanto, el enunciado (1) es verdadero solo si no es verdadero.

¿Qué ocurre si el enunciado (1) no es verdadero? Para verlo, supongamos que no lo es. En ese caso, se sigue de (ii) que:

«El enunciado (1) no es verdadero» es verdadero.

Pero (i) nos dice que ese solo puede ser el caso si el enunciado (1) es verdadero. Por tanto, el enunciado (1) no es verdadero solo si es verdadero.

¿Qué ha ocurrido? O bien el enunciado (1) es verdadero, o bien no. Si lo es, haciendo uso de la primera parte del razonamiento anterior deducimos una contradicción (que el enunciado (1) es y no es verdadero). Pero, si no lo es, también podemos concluir que el enunciado (1) es y no es verdadero. Vemos, por tanto, que cualquier hipótesis sobre el valor de verdad del enunciado nos lleva a una contradicción.

Paradoja de Berry

Resulta posible emplear descripciones del lenguaje natural para definir números naturales. Por ejemplo, la descripción «el menor número natural» define el número 0. La paradoja de Berry aparece cuando nos preguntamos acerca de la denotación de descripciones como esta:

El menor número natural no definible en menos de treinta sílabas.

¿A qué número natural nos estamos refiriendo? El número de descripciones de menos de treinta sílabas es finito; sin embargo, el conjunto de los números naturales es infinito. Por tanto, deben existir números naturales que no puedan definirse con menos de treinta sílabas, en cuyo caso el menor de ellos ha de existir también. Llamémosle n. Tenemos entonces que:

(i) La descripción «el menor número natural no definible en menos de treinta sílabas» define el número n.
(ii) La descripción «el menor número natural no definible en menos de treinta sílabas» define el número n si y solo si n es el menor número natural no definible en menos de treinta sílabas.

El problema reside en que la expresión «el menor número natural no definible en menos de treinta sílabas» cuenta con menos de treinta sílabas (posee veintitrés). Dado que (i) nos dice que dicha expresión define el número n, se sigue que n es definible en menos de treinta sílabas. Sin embargo, la combinación de esta observación con (ii) nos fuerza a concluir que «el menor número natural no definible en menos de treinta sílabas» no define el número n.

Si, por el contrario, la expresión anterior denota el número n, entonces (dado que esta cuenta con menos de treinta sílabas) n resulta ser definible en menos de treinta sílabas. Se sigue que existe un número natural que es y no es definible en menos de treinta sílabas.

La respuesta a la pregunta que abría esta columna reside en que ambas paradojas involucran expresiones cuyo significado parece exigir que satisfagan condiciones semánticas incompatibles. El significado del enunciado (1) parece exigir que este sea y no sea verdadero. Por otra parte, el significado de la descripción que aparece en la paradoja de Berry exige que esta denote y no denote cierto número natural. En los dos casos, la pregunta de si la expresión satisface cierta condición nos lleva a una contradicción por medio de un razonamiento de apariencia impecable.

Autorreferencia

Una reacción habitual para evitar esta clase de paradojas consiste en refugiarse en lenguajes formalizados que carezcan de predicados semánticos para sí mismos. Se trata de lenguajes que no disponen de los medios necesarios para formular expresiones que digan acerca de sí mismas si satisfacen —o no— ninguna condición semántica. Este tipo de solución bloquea no solo la formulación de enunciados como (1), sino también la circularidad que aparece en enunciados como los siguientes:

(2) El enunciado (3) es verdadero.
(3) El enunciado (2) no es verdadero.

Resulta fácil ver que los enunciados anteriores son paradójicos. El enunciado (2) es verdadero solo si el enunciado (3) también lo es. Pero (3) es verdadero solo si (2) no es verdadero. Por tanto, el enunciado (2) es verdadero solo si no es verdadero.

Por medio de un razonamiento similar, podemos convencernos de que el enunciado (2) no es verdadero solo si el enunciado (3) tampoco lo es. Pero si (3) no es verdadero, entonces (2) es verdadero. Se sigue que (2) no es verdadero solo si (2) es verdadero.

Aquí, la circularidad se debe al hecho de que las condiciones de verdad del enunciado (2) requieren que (2) no sea verdadero, aunque ello sea por medio de la veracidad de (3). Y al afirmar que (3) es verdadero, el enunciado (2) afirma sobre sí mismo que no es verdadero, aunque sea de manera indirecta.

Existen casos análogos para el caso de la denotación. Consideremos, por ejemplo:

(B) El menor número natural no denotado por la descripción (C).
(C) El número natural denotado por la descripción (B).

Mostremos primero que la descripción (C) no puede definir ningún número natural. Para ello, supongamos primero que sí lo hace, y llamemos n al número denotado por (C). Entonces, la descripción (B) debe definir el menor número no denotado por (C), ya sea 0 (si $n > 0$) o 1 (si $n = 0$). Por otro lado, se sigue de su definición que (C) debe definir el mismo número que (B), que, en cualquier caso, hemos demostrado que es diferente de n. La suposición de que (C) denota algún número nos conduce a una contradicción.

Por tanto, concluimos que (C) no puede definir ningún número natural. En ese caso, (B) denota el número 0. Pero entonces se sigue que (C) debe definir el mismo número, por lo que, después de todo, sí denota un número natural.

Al igual que en la paradoja del mentiroso o la de Berry, las anteriores involucran una cadena circular de enunciados o descripciones cuyo significado también les impide satisfacer una condición semántica. La cuestión reside en si esa circularidad resulta necesaria o no a la hora de generar paradojas de esta clase, ya sean sobre el valor de verdad o sobre la denotación de un enunciado.

La paradoja de Yablo

Durante largo tiempo se pensó que resultaría imposible formular paradojas semánticas que no exhibiesen una estructura circular. Todo cambió en 1993, cuando Stephen Yablo publicó un artículo de apenas una página en la revista *Analysis* que apuntaba a la existencia de paradojas de verdad no circulares. Su ejemplo involucra un número infinito de enunciados:

(1) Ningún enunciado de índice mayor o igual a 2 es verdadero.
(2) Ningún enunciado de índice mayor o igual a 3 es verdadero.
(3) Ningún enunciado de índice mayor o igual a 4 es verdadero.

...

(p) Ningún enunciado de índice mayor o igual a $p + 1$ es verdadero.

...

La serie de Yablo es paradójica porque, por un lado, podemos probar que ningún enunciado en la serie es verdadero y, por otro, ese mismo resultado nos dice que todos ellos deberían ser verdaderos.

Demostremos primero que ningún enunciado de la serie es verdadero. Comencemos por considerar el enunciado de índice n y supongamos que es verdadero. En tal caso, se sigue que ningún enunciado de índice mayor o igual a $n + 1$ es verdadero. En particular, no lo es el enunciado de índice $n + 1$, ni tampoco ningún otro de índice mayor o igual a $n + 2$. Pero esto último es justo lo que afirma el enunciado de índice $n + 1$. Por tanto, el enunciado de índice $n + 1$ es verdadero, y no es cierto que ningún enunciado de índice mayor o igual a $n + 1$ sea verdadero. Hemos demostrado que el enunciado de índice n es verdadero solo si no lo es, por lo que debemos deducir que no es verdadero. Como el argumento anterior se aplica a cualquier valor de n, podemos concluir que ningún enunciado de la serie de Yablo es verdadero.

Por otro lado, si no existe ningún enunciado verdadero en la serie, entonces ninguno de índice mayor o igual a 2 es verdadero. Pero eso es precisamente lo que dice el primero de ellos, por lo que este es verdadero. Un razonamiento similar nos permite mostrar que todos los enunciados de la serie son verdaderos.

Se diría que hemos demostrado que ningún enunciado en la serie de Yablo es verdadero, y también lo contrario: que no es cierto que ningún enunciado en la serie



DANIEL UZQUIANO

sea verdadero (de hecho, hemos probado que todos lo son).

La paradoja de Yablo no parece exhibir la circularidad de las anteriores, ya que el valor de verdad de un enunciado solo depende de la veracidad de otros cuyo valor de verdad nunca llega a involucrar el del enunciado inicial. Ya no nos encontramos ante una cadena circular, sino ante una cadena infinita descendente.



Una nueva paradoja de la denotación

Aunque el ejemplo de Yablo plantea una paradoja sobre el valor de verdad de los enunciados que la componen, pueden obtenerse paradojas similares para el caso de la denotación. Basta con considerar una serie infinita de descripciones como las siguientes:

(1) El menor número natural no definido por una expresión de índice mayor o igual a 2.
(2) El menor número natural no definido por una expresión de índice mayor o igual a 3.
(3) El menor número natural no definido por una expresión de índice mayor o igual a 4.

...

(p) El menor número natural no definido por una expresión de índice mayor o igual a $p + 1$.

...

Para ver que esta cadena de descripciones constituye una paradoja, argumentaremos que, por un lado, ninguna de ellas define un número natural y, por otro, que todas ellas deben definir un número natural.

Comencemos por demostrar que ninguna de las descripciones puede definir un número natural. Para ello, supongamos que la descripción de índice n sí define un número natural, al que llamaremos k. Ahora cabe distinguir dos casos.

(i) Si $k = 0$, entonces ninguna de las expresiones posteriores a n puede definir el número 0: o bien no denotan nada, o bien denotan números mayores que 0. En cualquier caso, el hecho de que ninguna expresión con índice mayor o igual a $n + 2$ denote el número 0 implica que la expresión $n + 1$ debería denotar el 0 y, por tanto, este no podría corresponderse con la descripción de índice n.

(ii) Supongamos entonces que $k > 0$. En tal caso, todos los números menores que k ($k - 1$, $k - 2$...) deben estar definidos por alguna de las descripciones de índice superior a n (ya que, si alguno no se encontrase en la serie que sigue a la descripción n-ésima, esta debería denotar dicho número, no k). La observación crucial es que debe haber una descripción de índice mayor que n que finalmente defina el número 0. Sea $n + m$ el índice de una descripción tal. Ahora, basta con aplicar el argumento (i) a dicha expresión para deducir la misma contradicción: que la descripción de índice $n + m$ denota y no denota el número 0.

Como el argumento anterior no depende del valor de n, podemos concluir que ninguna descripción en la serie denota ningún número natural.

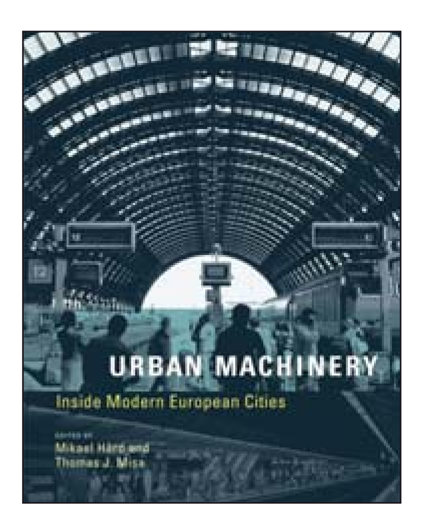
Por otro lado, si ninguna descripción en la serie define ningún número, entonces el menor número natural no definido por una descripción de índice mayor o igual a 2 es precisamente el número 0. Por tanto, la primera descripción en la serie sí denota a un número natural: el 0. Un razonamiento similar se aplica al resto de descripciones en la serie, por lo que parece que todas ellas deberían definir un número natural.

Lo que comparte esta paradoja con la anterior es la ausencia de circularidad. Las condiciones que impone cada una de las descripciones de la serie involucran la denotación de las expresiones que siguen, pero nunca su propia denotación, ni siquiera de manera indirecta. La conclusión resulta obvia: no parece que el énfasis en la circularidad de las paradojas semánticas tradicionales nos ayude a llegar al corazón del problema.

PARA SABER MÁS

Alfred Tarski publicó un artículo llamado **Truth and proof** en *Scientific American*, vol. 220, págs. 63-77, 1969, en el que expone la respuesta tradicional a las paradojas semánticas.
El artículo de Stephen Yablo, **Paradox without self-reference**, apareció en *Analysis*, vol. 53, págs. 251-252, 1993.
Sobre la paradoja no circular de la denotación, puede consultarse **An infinitary paradox of denotation**, G. Uzquiano en *Analysis*, vol. 64, págs. 128-131, 2004.

DANIEL UZQUIANO



URBAN MACHINERY.
INSIDE MODERN EUROPEAN CITIES.

Dirigido por Mikael Hård y Thomas J. Misa. MIT Press; Londres y Cambridge, Massachusetts, 2008.

Tecnología «glocal»

Una interpretación norteamericana de la ciudad europea contemporánea

Urban Machinery es el resultado de un magnífico trabajo de investigación colectiva desarrollado por académicos europeos y norteamericanos en el campo de la historia de la tecnología urbana. Un compendio de doce monografías encabezadas por una introducción de los coordinadores Mikael Hard, de la Universidad de Tecnología de Darmstad, y Thomas J. Misa, de la Universidad de Minnesota, expone la incidencia de los avances técnicos en la configuración de la ciudad europea desde mediados del siglo xix hasta la actualidad. El factor tecnológico se aborda en toda su complejidad y se ilustra detalladamente el rico entramado de implicaciones económicas, sociales, políticas y también culturales asociadas a la incorporación de nuevas infraestructuras. El libro se plantea con amplitud geográfica y sus estudios recorren la diversidad urbana del continente europeo.

Urban Machinery también puede leerse entre líneas como una reflexión abierta, en clave norteamericana, sobre la amenaza de la uniformización de las ciudades en un mundo globalizado. La importación de tecnologías al servicio de un funcionamiento urbano más eficiente constituye una práctica recurrente en los países desarrollados. Las nuevas infraestructuras de movilidad, telecomunicaciones o gestión de residuos y energía, hacen que las ciudades europeas de hoy, en palabras de los autores, sean más parecidas que nunca. Sin embargo, las dinámicas homogeneizadoras parecen hallar resistencia en la idiosincrasia local y las tradiciones urbanas de largo recorrido. Hallar las claves del equilibrio entre la modernidad técnica y la identidad cultural es el propósito subyacente en la investigación desarrollada.

La primera monografía, de carácter introductorio, centra el doble foco de la publicación: la circulación e intercambio de conceptos y técnicas de aplicación universal; y, a la vez, su apropiación particular sujeta a las condiciones específicas de cada contexto. La fascinación por la tecnología urbana resulta evidente y la élite técnico-política encargada de facilitar su incorporación asume el rol de protagonista. En este escenario, las miradas en busca de referencias tienden a desplazarse de Europa hacia los Estados Unidos. Simultáneamente, aflora con igual intensidad el aprecio por la diversidad urbana, con el trasfondo de una cierta crítica al *sprawl* norteamericano, tan eficiente como despersonalizado y en retroceso cuando la diferencia se cotiza al alza. Esta vez el modelo de referencia se sitúa más cerca de Europa. En definitiva, tecnología universal e identidad cultural se entretejen en un juego de mutua atracción y miradas cruzadas que recorre todo el libro, con viajes a ambos lados del Atlántico para aprender de los aciertos y errores ajenos.

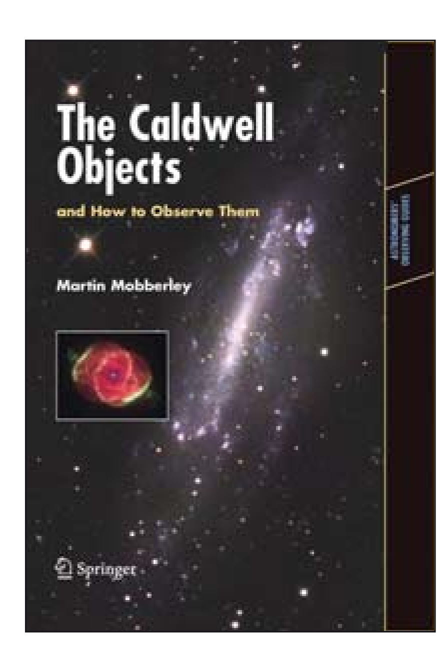
A la luz de este enfoque, se suceden las doce monografías, excelentemente documentadas, que exploran con detalle los entresijos de la circulación y apropiación de tecnologías. En un devenir multidireccional, el avance técnico conlleva también *marketing* urbano, discurso ideológico, intereses político-económicos y liderazgo social. Los estudios se agrupan de forma un tanto artificiosa en cuatro secciones: Modernidad y pericia; Representación y reforma; Industria e innovación; y Planeamiento y poder. En este sentido, la visión panorámica del libro, extendida a múltiples episodios, requeriría seguramente el complemento de una reflexión cruzada más ambiciosa sobre los mecanismos de diseminación y resistencia. El análisis comparativo permitiría, a modo de conclusión, exponer con mayor claridad y contundencia los frutos de la investigación común.

En cualquier caso, los materiales para esta reflexión añadida se hallan disponibles y el lector podrá agruparlos en dos grandes bloques. Un grupo significativo de monografías aborda las sucesivas fases de renovación tecnológica; desde el suministro de agua y el saneamiento, hasta el desarrollo sostenible, pasando por las redes de gas, electricidad y la irrupción del coche. Merece la pena remarcar que la perspectiva sobre la circulación de informaciones y prácticas es cambiante; este es sin duda uno de los puntos fuertes del libro. Se aborda el intercambio entre países europeos avanzados; tal es el caso de la ingeniería urbana alemana de principios del siglo xx, de especial interés para Gran Bretaña y Estados Unidos. También se trata la transferencia de países del núcleo duro europeo, como Francia, Gran Bretaña, Alemania e Italia, hacia países periféricos como Turquía. E incluso también, dentro de un país avanzado como Holanda, se describe la construcción de un cuerpo tecnológico propio a partir de la selección de experiencias europeas.

Paralelamente, diversos estudios tienden a abordar el intercambio tecnológico desde una visión arquetípica. La ciudad-cabecera de puerto y la lucha por el predominio comercial en el Rin; la ciudad turística y la evolución de los espacios de consumo desde las primeras galerías comerciales al *marketing* urbano; la ciudad-fábrica y la importación de recursos técnicos en las nuevas ciudades de la Europa del Este destinadas a la producción de acero; la ciudad de la innovación y la transición al modelo integrador de ciencia, técnica y comunidad; la ciudad moderna y la crítica a la pretendida uniformidad de los principios universales; la ciudad socialista y la particular adaptación del modelo urbano soviético.

La tensión dialéctica entre la tecnología como factor de progreso globalizador y la adecuación a las condiciones del entorno social, económico e ideológico específico, parece resolverse, como no podía ser de otra forma, en una síntesis sin vencedores ni vencidos. La eficiencia técnica no conduce indefectiblemente a la homogeneización de las ciudades tal como lo demuestra en su conjunto la historia de la tecnología urbana europea. A la postre, pues, un mensaje esperanzador y de confianza en la capacidad de las estructuras locales para digerir y moldear el esfuerzo técnico a favor de la calidad y diversidad del espacio urbano.

—*Pere Vall Casas*



THE CALDWELL OBJECTS
AND HOW TO OBSERVE THEM.
ASTRONOMER'S OBSERVING GUIDES,

por Martin Mobberley.
Springer Verlag; Heidelberg, Berlín,
Nueva York, 2009.

Guía del espacio profundo

Una digna competidora del catálogo Messier

Tan solo un puñado de catálogos celestes de objetos del espacio profundo, esto es, de objetos celestes observables de más allá de nuestro sistema solar, en las profundidades del espacio, han tenido realmente gran difusión. Entre ellos se halla sin duda la lista de Charles Messier, que fue publicada como la primera de su clase y es seguramente hasta hoy la más conocida. Messier fue un avezado observador de cometas y listó a principios del siglo XVIII hasta 109 nubes celestes difusas, que hasta entonces había confundido repetidamente con avistamientos de cometas.

En diciembre de 1995 la revista *Sky & Telescope* publicó una lista de objetos del espacio profundo debida al conocido astrónomo aficionado británico sir Patrick Moore (cuyo nombre completo es sir Patrick Caldwell-Moore). Moore es seguramente uno de los autores de libros de astronomía para aficionados más leídos. Su lista contiene 109 objetos que no figuran en el catálogo de Messier y que, no obstante, figuran entre sus preferidos. Entre ellos se cuentan también una larga lista de objetos celestes que solo pueden observarse desde el hemisferio sur. La reseña en *Sky & Telescope* estaba enriquecida con una serie de fotos en blanco y negro, y en color, en las cuales se mostraban algunos de los objetos Caldwell. Esta lista repleta de espectaculares objetos fue objeto de gran difusión en países anglohablantes y en los del hemisferio meridional de la Tierra.

Cuando le preguntaron al autor Martin Mobberley, amigo de Patrick Moore y fascinado observador del cielo, si quería escribir este libro, al principio dudó. Teniendo en cuenta la obra sobre Caldwell fruto de cinco años de observaciones de Stephen O'Meara, astrónomo aficionado estadounidense, surgía la cuestión de si y cómo un nuevo libro sobre Caldwell podría labrarse un lugar. Mobberley decidió acometer el proyecto y concebir el libro en un formato más moderno y diferenciado.

Antes de hablar sobre objetos individuales, Mobberley resume en unas diez páginas algunas informaciones introductorias. Sitúa a Moore, el «descubridor» del catálogo, en el punto central. Dedica una sección entera de este primer capítulo a la historia de la confección del catálogo Caldwell. Mediante la observación de dos de sus objetos preferidos (el cúmulo estelar doble h y χ en la constelación de Perseo y la nebulosa helicoidal en la constelación de Acuario) Moore concibió la idea de preparar una lista de también 109 objetos celestes, los cuales basándose en sus experiencias de observación eran cuanto menos tan buenos e interesantes como los de la legendaria lista de Messier. Más aún, Messier no pudo prestar atención al cielo austral, o al menos a la parte del mismo que desde su lugar de observación en París no es observable. A continuación confeccionó su lista, la envió a *Sky & Telescope* y el resto es historia.

El segundo capítulo del libro, de suma importancia, empieza con algunas informaciones explicativas sobre las representaciones de los objetos que siguen, antes de que el lector —o mejor, el observador interesado— se sumerja en la diversidad que ofrecen las 109 fotografías individuales. Cada una de ellas se representa a doble página. Arriba a la izquierda figura una lista con cifras, datos y hechos sobre dimensiones del objeto, su posición o luminosidad. También se han incluido datos físicos como la distancia y el diámetro en años-luz. Algunos consejos prácticos para la observación, como la mejor época del año, la potencia de aumentos razonable y la apertura óptica necesaria, completan la presentación.

Lo más interesante para el observador es la media página que suele ampliar la descripción del objeto. El autor ha incluido aquí algunas informaciones notables y referencias. En cualquier caso, las descripciones de los objetos se concentran mayoritariamente en los resultados fotográficos. Por norma general, la descripción de las observaciones visuales deja algo que desear. La causa de ello hay que buscarla seguramente en la antes mencionada diferenciación respecto del libro de O'Meara.

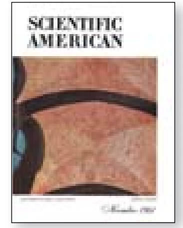
El libro se completa con un par de pequeños capítulos repletos de consejos para la observación de los objetos Caldwell con el telescopio y con las modernas técnicas que usan cámaras con dispositivo acoplado de carga (CCD, de *charge coupled device*). En ambos capítulos el autor se esfuerza por cubrir con cierta amplitud el tema y seguramente representan un complemento cabal de este libro-catálogo. En ambos casos existen, no obstante, introducciones más fundamentales, generales y mejores. Con una colección de lecturas adicionales y enlaces a páginas web sobre el tema de la observación del cielo y el catálogo Caldwell se completan las 270 páginas del libro.

¿Qué puede aportar este libro al observador local del firmamento? Aquel que esté interesado en la lista de objetos hallará aquí una representación exhaustiva de los mismos en forma de libro. El observador activo puede observar aproximadamente dos tercios de los objetos Caldwell desde las latitudes septentrionales de Europa Central. Por ello en la práctica puede utilizar solo una parte de estas descripciones, en tanto no viaje al hemisferio sur.

Además, el libro se presenta solo en inglés, por lo que lleva aparejada cierta barrera lingüística. Para el observador más avanzado —y, sobre todo, para el fotógrafo avezado— el libro de Mobberley representa un enriquecimiento de la biblioteca. Los aficionados únicamente a la observación no fotográfica harían bien en echar una mirada comparativa al libro de O'Meara.

—Bernd Weisheit

Recopilación de Daniel C. Schlenoff

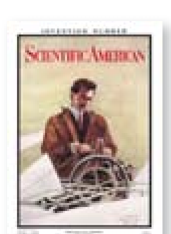


Noviembre 1961

Máquinas de enseñar

«Como todos los ingenios que sirven para algo, las máquinas de enseñar han surgido poco a poco por la necesidad de realizar un trabajo con mayor eficacia de la que se haría por otros procedimientos. El invento ha suscitado todo tipo de reacciones; también adversas, como cabe esperar ante cualquier máquina nueva. Hay quienes la consideran una amenaza para los docentes, cosa que no son. Algunos imaginan que harán de la educación un proceso frío y mecánico. Otros temen que conviertan a los estudiantes en robots reglados y descerebrados. Tales temores carecen de base. El propósito de la nueva máquina se enuncia de modo sencillo: enseñar con rapidez y profundidad una gran parte de lo que ahora enseñamos con lentitud, de forma incompleta y con gran desperdicio de esfuerzos por parte de alumnos y profesores.

—B. F. Skinner»



Noviembre 1911

¿Tiene fuego?

«Se ha estimado que, al paso de cada minuto, los países civilizados del mundo encienden tres millones de cerillas. La importancia de la industria productora de esas pequeñas astillas de madera con azufre en la punta solo se reconoce al considerar los apuros en que se vería cualquier fumador si tuviera que regresar a los tiempos en que debía producir chispas con una caja de yesca.»

Edison y las luces de la ciudad

«He observado que la iluminación de las principales ciudades europeas supera en gran medida a la de Nueva York. Berlín y París se hallan muy bien iluminadas, casi por igual; pero la primera cada vez cuenta con más luz y no tardará en rebasar a París en ese aspecto. La vida nocturna berlinesa aumenta con rapidez. Puede observarse claramente que la actividad se intensifica de noche en aquellas urbes europeas que disponen de una energía de origen hidráulico barata. Además, parece existir una relación entre la vida nocturna y la actividad industrial de la población. En las ciudades donde la luz es barata y abundante las personas trasnochan, lo que parece mitigar la naturaleza flemática de su temperamento.

—Thomas A. Edison»

Marie Sklodowska Curie

«Hace solo unos días nos llegó la noticia de que madame Curie había sido galardonada con un segundo premio Nobel, esta vez en la especialidad de química. Por su longitud, no es posible ofrecer la lista de condecoraciones y premios concedidos a madame Curie en países extranjeros. Además de las numerosas investigaciones sobre radiactividad realizadas en colaboración con su marido, madame Curie ha publicado una gran cantidad de trabajos propios y un volumen, *Investigaciones sobre sustancias radiactivas*, en el que se exponen los resultados de los estudios realizados por ambos, incluido el descubrimiento, que hizo época, del radio.»



Noviembre 1861

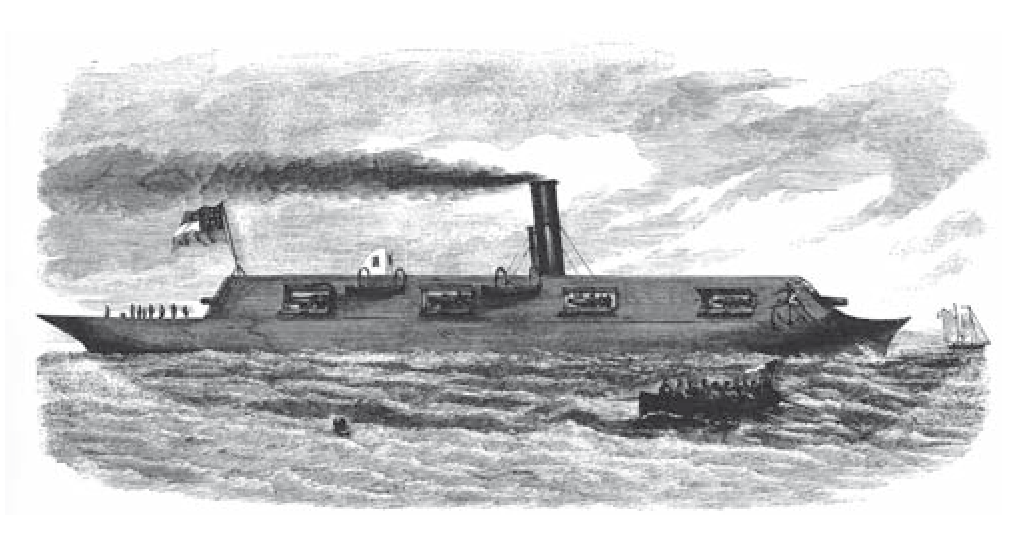
Poderoso Merrimac

«El grabado adjunto del *Merrimac* procede de un esbozo facilitado por un mecánico llegado de Norfolk bajo bandera de tregua. Afirma haber trabajado en el buque, y no cabe duda de que conoce bien su aspecto. Cuando la primavera pasada los astilleros de Gosport quedaron destruidos, el *Merrimac* se quemó en parte y luego se hundió. Nos han llegado noticias esporádicas de que los secesionistas habían logrado reflotarlo y lo estaban reparando. Según el mecánico que proporcionó el esbozo, el casco ha sido rebajado a menos de un metro de la línea de flotación en lastre, y se ha construido una superestructura a prueba de bombas en la cubierta principal. La proa y la popa han sido revestidas de acero con un angular en voladizo como ariete.»

A los cuatro meses, este barco de guerra, rebautizado CSS Virginia*, libró un combate con el de la Unión* Monitor*; representó el primer duelo en el mundo entre barcos acorazados.*

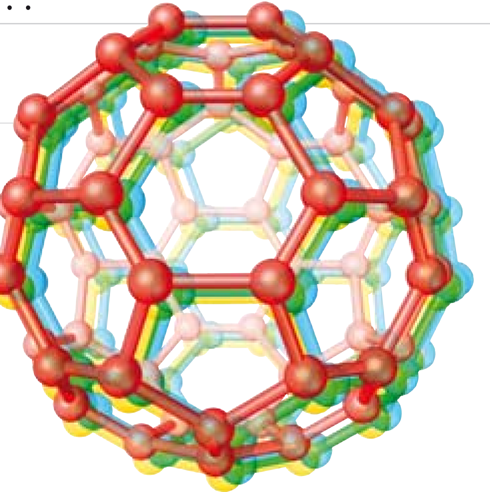
Fotografiar fantasmas

«En un artículo sobre la actual tendencia de la literatura a recuperar las historias de fantasmas, la *London Review* sugiere a los escritores que tomen fotografías de sus visitantes espectrales a modo de comprobación. Dice: «Ahora, si el fantasma nos lo pide, que la ciencia le haga el favor. ¡Que la óptica y la química se hagan con ese moderno espectro y lo fotografíen! La fotografía puede captar las colas de los cometas y la atmósfera del Sol, y un fantasma apenas resulta menos material. Las placas fotográficas no son propensas a las falsas ilusiones, carecen de un cerebro al que trastornar y son exactas en sus testimonios.»



Uno de los primeros acorazados hace una aparición (sobre un grabado algo imaginativo): el *CSS Virginia*, también llamado *Merrimac*

SCIENTIFIC AMERICAN, VOL. V, N.º 19; 9 DE NOVIEMBRE DE 1861



QUÍMICA

Diez enigmas por resolver

Philip Ball

Muchas de las cuestiones científicas de mayor calado —y algunos de los problemas más urgentes de la humanidad— competen a la ciencia de los átomos y las moléculas.

METROLOGÍA

El futuro del tiempo: UTC y los segundos intercalares

D. Finkleman, S. Allen, J. H. Seago y otros

Los relojes terrestres han marcado siempre la hora solar. ¿Lo seguirán haciendo?



HISTORIA

Un héroe de mayor gloria

Edward J. Larson

Ante la carrera por conquistar el Polo Sur, el explorador Robert F. Scott se negó a sacrificar su ambiciosa agenda científica.

GEOLOGÍA

El tesoro enterrado de Afganistán

Sarah Simpson

Los yacimientos hallados recientemente en el asediado país podrían cubrir la demanda mundial de tierras raras y minerales críticos, y a su vez derrocar la hegemonía local del opio.

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

DIRECTORA GENERAL Pilar Bronchal Garfella
DIRECTORA EDITORIAL Laia Torres Casas
EDICIONES Anna Ferran Cabeza, Ernesto Lozano Tellechea, Yvonne Buchholz
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

EDITA
Prensa Científica, S.A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413
e-mail precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF Mariette DiChristina
EXECUTIVE EDITOR Fred Guterl
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
MANAGING EDITOR, ONLINE Philip M. Yam
DESIGN DIRECTOR Michael Mrak
SENIOR WRITER Gary Stix
EDITORS Davide Castelvecchi, Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Kate Wong
CONTRIBUTING EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, John Rennie, Sarah Simpson
ART DIRECTOR, INFORMATION GRAPHICS Jen Christiansen
MANAGING PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

PRESIDENT Steven Inchcoombe
EXECUTIVE VICE PRESIDENT Michael Florek
MANAGING DIRECTOR, CONSUMER MARKETING Christian Dorbandt
VICE PRESIDENT AND PUBLISHER Bruce Brandfon

DISTRIBUCIÓN
para España:
LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Pinares Llanos - Electricistas, 3
28670 Villaviciosa de Odón (Madrid)
Teléfono 916 657 158

para los restantes países:
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª - 08021 Barcelona

PUBLICIDAD
Aptitud Comercial y Comunicación S. L.
Ortigosa, 14
08003 Barcelona
Tel. 934 143 344 - Móvil 653 340 243
publicidad@investigacionyciencia.es

SUSCRIPCIONES
Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
Fax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

Precios de suscripción:

	España	Extranjero
Un año	65,00 euros	100,00 euros
Dos años	120,00 euros	190,00 euros

Ejemplares sueltos:

El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.



COLABORADORES DE ESTE NÚMERO

Asesoramiento y traducción:

Luis Bou: *Saber urbano, Motores de innovación, El científico jefe de México, Vida en la metaciudad*; Susana Urra: *El bazar global*; Laura Muñoz: *Cerebros sobre edificios*; Fabio Teixidó: *Clima: una cuestión local*; Marián Beltrán: *La opinión de la calle*; Bruno Moreno: *Apuntes, El estrés de la multitud y De cerca*; J. Vilardell: *Apuntes, Hace...*

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica) Ctra. N-II, km 600 08620 Sant Vicenç dels Horts (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España